



**DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTE**

**PROGRAMA DE DOCTORADO CIENCIAS DE LA SALUD  
(INTERUNIVERSITARIO)**

**Efecto de un programa de ejercicio físico de alta intensidad sobre la calidad de vida, salud mental, las funciones ejecutivas cerebrales y la respuesta de IGF-1 en mujeres jóvenes universitarias.**

**Manuel Jesús Jiménez Roldán**

**Sevilla, 2023**



## **Carta del director**

D. LUIS CARRASCO PÁEZ, Doctor en Educación Física por la Universidad de Granada y Titular de la Universidad de Sevilla,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “Efecto de un programa de ejercicio físico de alta intensidad sobre la calidad de vida, salud mental, las funciones ejecutivas cerebrales y la respuesta de IGF-1 en mujeres jóvenes universitarias”, presentada por D. Manuel Jesús Jiménez Roldán, ha sido realizada bajo mi dirección y supervisión, reuniendo las condiciones científico-técnicas requeridas para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Sevilla.

En Sevilla, junio de 2023.

Fdo.: Luis Carrasco Páez.



D. FRANCISCO DE BORJA SAÑUDO CORRALES, Doctor en Educación Física y Catedrático de la Universidad de Sevilla,

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada “Efecto de un programa de ejercicio físico de alta intensidad sobre la calidad de vida, salud mental, las funciones ejecutivas cerebrales y la respuesta de IGF-1 en mujeres jóvenes universitarias”, presentada por D. Manuel Jesús Jiménez Roldán, ha sido realizada bajo mi dirección y supervisión, reuniendo las condiciones científico-técnicas requeridas para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Sevilla.

En Sevilla, junio de 2023.

Fdo.: Francisco De Borja Sañudo Corrales

## **Agradecimientos.**

Quiero comenzar expresando mi profundo agradecimiento a mi director de tesis, Luis Carrasco, por su inestimable apoyo, sabiduría y paciencia, lo cual ha sido fundamental para la culminación de esta tesis doctoral. Fuiste un referente en mi formación académica durante los estudios de CAFYD y has vuelto a serlo en este largo camino. Por ello, gracias por ser un docente excepcional y compartir tu sabiduría y experiencia. Tu compromiso con mi crecimiento académico y profesional ha sido inigualable, y tus enseñanzas me acompañarán a lo largo de mi carrera. Gracias.

Por supuesto, gracias a mi otro referente y director, Borja Sañudo. Fuiste capaz de ayudar, guiar y animar en cada momento para que pudiera avanzar y finalizar en esta Tesis Doctoral. Espero que mantengáis en cada momento vuestra identidad e influyáis en otros como lo hicisteis en mí.

A mis padres y hermano, porque me educasteis siendo vosotros ejemplo de humildad y constancia. Sin ello, no hubiera podido culminar este camino. Y a ti María, por ser vida y alegría y contagiármelo en todo este proceso.

A los compañeros y amigos de la Escuela Universitaria de Osuna, por el apoyo y ayuda constante que he recibido en todo momento.

## Índice general.

Pág.

Carta del director.....	iii
Agradecimientos.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	ix
Lista de abreviaturas.....	xii
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xix
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.Función cognitiva: bases neurofisiológicas de la cognición.....	1
1.1.1.Revisión anatómica y funcional.....	1
1.1.2.Lóbulos frontales y función cognitiva.....	6
1.1.3.Neuroplasticidad. Principales factores de crecimiento neuronal.....	7
1.2. Las funciones ejecutivas.....	15
1.2.1.Memoria de trabajo.....	20
1.2.2.Control inhibitorio.....	21
1.2.3.Flexibilidad cognitiva.....	22
1.3.Factores que influyen en las funciones ejecutivas.....	23
1.4.Ejercicio físico, neuroplasticidad y funciones ejecutivas.....	42
1.4.1.. Efectos del ejercicio físico sobre los factores de crecimiento neuronal.....	42
1.4.2. Nivel de práctica de actividad física y funciones ejecutivas.....	55
1.4.3. Efectos de programas de ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas.....	59
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	77
3. OBJETIVOS.....	80
3.1. Objetivos generales.....	80
3.2. Objetivos específicos.....	80

4. HIPÓTESIS.....	84
5.METODOLOGÍA.....	87
5.1. Diseño del estudio.....	87
5.2. Muestra. Cálculo del tamaño muestral y selección.....	88
5.3. Variables.....	90
5.3.1.Variables independientes.....	90
5.3.2. Variables dependientes.....	93
5.4. Procedimiento .....	111
5.4.1. Evaluación Inicial.....	111
5.4.2. Periodo de intervención.....	112
5.5.. Análisis estadístico de los datos.....	113
6. RESULTADOS .....	116
6.1. Características generales de la muestra.....	116
6.2. Efectos del programa de entrenamiento HIIT.....	120
6.2.1. Cambios en IGF-1.....	123
6.2.2. Cambios en las funciones ejecutivas.....	124
6.2.3. Cambios en la composición corporal.....	132
6.2.4. Cambios en la condición física.....	136
6.2.5. Cambios en la práctica de AF.....	139
6.3. Efecto agudo en los diferentes momentos de evaluación.....	147
6.3.1. IGF-1.....	147
6.3.2. Funciones ejecutivas.....	147
7. DISCUSIÓN.....	151
7.1. Sobre la muestra y sus características.....	152
7.2. Sobre la intervención HIIT.....	155
7.3. Sobre la evaluación bioquímica.....	160
7.3.1. Sobre el efecto crónico de IGF-1.....	163
7.3.2. Sobre la respuesta aguda de IGF-1.....	165
7.4. Sobre cambios en las funciones ejecutivas.....	168

7.4.1. Control inhibitorio.....	169
7.4.2. Flexibilidad cognitiva.....	171
7.4.3. Memoria de trabajo.....	173
7.5. Sobre los cambios en la composición corporal.....	175
7.6. Sobre los cambios en la condición física.....	176
7.7. Sobre los cambios en calidad de vida.....	178
7.8. Sobre los cambios en la actividad física.....	180
8. CONCLUSIONES.....	183
9. NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN.....	187
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	190

## Índice de tablas.

Tabla 1. Importancia de las Funciones Ejecutivas en Diferentes Aspectos de la Vida. ....	16
Tabla 2. Línea temporal del planteamiento del estudio. ....	88
Tabla 3. Criterios de inclusión y exclusión. ....	89
Tabla 4. Características técnicas de los kits ELISA de IGF-1 producidos por Elabscience. ....	95
Tabla 5. Resumen de variables en relación a las funciones ejecutivas. ....	111
Tabla 6. Datos socioeconómicos de la muestra participante en el estudio expresados en la cantidad total según clasificación y según porcentaje equivalente (%). ....	116
Tabla 7. Concentración de IGF-1 en la población estudiada tanto en estado basal (pre esfuerzo), como tras realizar un esfuerzo máximo (post esfuerzo) durante T1. ....	119
Tabla 8. Composición corporal de la muestra participante en el estudio (n=58). ....	117
Tabla 9. Condición física de los sujetos participantes en la investigación (n=58). ....	118
Tabla 10. Hábitos de práctica de actividad física de los sujetos (n=58). ....	118
Tabla 11. Calidad de vida de la muestra evaluada a través del cuestionario SF-36 (n=58). ....	119
Tabla 12. Funciones ejecutivas de la población estudiada en las pruebas de Stroop test, wisconsin card test y Digit Span test. ....	120
Tabla 13. Concentración de IGF-1 en saliva en situaciones de Pre y Post esfuerzo en los tres momentos de evaluación T1, T2 Y T3 (Pre, Post y <i>Follow</i> ) (n=58). Sd: desviación estándar...	123
Tabla 14. Diferencias entre las diferentes fases y grupos en el Stroop test en los momentos T1, T2 y T3. ....	125



Tabla 15. Diferencias entre las diferentes fases y grupos en el WCST test en los momentos Pre y Post esfuerzo. ....	127
Tabla 16. Diferencias entre las diferentes fases y grupos en el DST test en los momentos Pre y Post esfuerzo. ....	130
Tabla 17. Cambios en la composición corporal entre los momentos T1, T2 y T3. ....	133
Tabla 18. Cambios en la condición física entre los momentos T1, T2 y T3. ....	137
Tabla 19. Cambios en la actividad física entre los momentos T1, T2 y T3.....	140
Tabla 20. Cambios en la actividad física entre los momentos T1, T2 y T3.....	142

## Índice de figuras.

Figura 1. Regiones del cerebro con la correspondiente numeración según el mapa citoarquitectónico del córtex prefrontal de Brodmann. ....	2
Figura 2. Representación esquemática de los efectos de las limitaciones individuales y de la tarea en la relación aguda del ejercicio agudo y la cognición, con especial referencia a las limitaciones individuales derivadas del ejercicio crónico. ....	63
Figura 3. Periodización del programa de entrenamiento HIIT. ....	93
Figura 4. Colocación y ubicación del acelerómetro.....	101
Figura 5. Diagrama de flujo que representa diferentes etapas en el proceso de investigación...	113
Figura 6. Distribución de la intensidad planificada y la desarrollada (RPE; esfuerzo percibido) a lo largo de las diferentes semanas del programa HIIT. ....	121
Figura 7. Intensidad realizada según cada grupo de entrenamiento. ....	122
Figura 8. Porcentaje de cambio en IGF-1 pre y post esfuerzo en comparación con los diferentes momentos de evaluación.....	124
Figura 9. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba ST-I-T entre los diferentes momentos pre y post esfuerzo.....	126
Figura 10. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba ST-I-A entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo. ....	126
Figura 11. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba WCST-C entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo. ....	129

Figura 12. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba DST-I entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo. ....	132
Figura 13. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la masa grasa entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo. ....	134
Figura 14. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la masa muscular entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo. ....	135
Figura 15. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en el perímetro de cintura entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo. ....	136
Figura 16. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba isométrica con la pierna derecha entre los diferentes momentos de evaluación.....	138
Figura 17. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba isométrica con la pierna izquierda entre los diferentes momentos de evaluación. ....	138
Figura 18. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la variable VO <sub>2</sub> max. ....	139
Figura 19. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de Rol físico del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación. ....	144
Figura 20. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de dolor corporal del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.....	144
Figura 21. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de salud general del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación. ....	145
Figura 22. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de vitalidad del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.....	145

Figura 23. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de función social del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.....	146
Figura 24. Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de salud mental del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación. ....	146
Figura 25. Diferencia del efecto de ST-A entre pre esfuerzo y post esfuerzo según cada momento de evaluación. ....	148
Figura 26. Diferencia del efecto de ST-T entre pre esfuerzo y post esfuerzo según cada momento de evaluación .....	148
Figura 27. Diferencia del efecto de DST-T entre pre esfuerzo y post esfuerzo según cada momento de evaluación. ....	149

## **Lista de abreviaturas.**

11p13: Brazo corto del cromosoma 11, banda p13

ACSM: American College of Sport Medicine (Colegio Americano de Medicina del Deporte)

AF: Actividad física

AMPK: Adenosina monofosfato

BDI-II: Beck depression inventory

BDNF: Factor neurotrófico derivado del cerebro

BIA: Bioimpedancia eléctrica

CDP-Colina: citicolina

DST: Digit Span Test

DST-D: Memoria directa

DST-I: Memoria indirecta

DST-T: Total aciertos

FE: Funciones ejecutivas

FGF: Factor de crecimiento fibroblastos

GAPPA: Plan de acción global en actividad física

GC: Grupo control

GDNF: Factor neurotrófico derivado de las células gliales

GSK3b: Glucógeno sintasa cinasa 3b

HDRS: Escala de valoración de Hamilton para la valoración de la depresión

HIIT: Entrenamiento de intervalos de alta intensidad

HIIT+AF: Entrenamiento interválico de alta intensidad junto a incremento de la actividad física diaria

HRP: Peroxidasa de Rábano

IGF-1: Factor insulínico de crecimiento

IGFBP1: Proteínas portadoras de IGF-1

IPAQ: Cuestionario internacional de Actividad física

Kg: Kilogramos

METs: Equivalente metabólico

MICT: Entrenamiento continuado de intensidad moderada

mL: Mililitros  
MMSE: Minimental test  
Ng: Nanogramo  
NGF: Factor de crecimiento nervioso  
N-m: Newton-metro  
NT-3: Neurotrofina 3  
NT-4: Neurotrofina 4  
OMS: Organización mundial de la salud  
PGC1 $\alpha$ / FNDC5: Genes del hipocampo  
PI-3K: Via de activación de la fosfatidilinositol-3 quinasa  
POMS: Cuestionario de Perfil de Estados de Ánimo  
PSQI: Índice de calidad del sueño de Pittsburg  
RCT: Ensayo clínico aleatorizado  
RM: Repetición máxima  
RPE: Escala subjetiva del esfuerzo  
SD: Desviación estándar  
SNP: Un solo nucleótido  
ST: Stroop test  
ST-I: N<sup>a</sup> aciertos interferencia  
ST-I-I: Tiempo interferencia  
T1: Evaluación pre  
T2: Evaluación postest  
T3: Evaluación Follow-up  
TGF-  $\beta$ : Factor de crecimiento transformador  $\beta$   
TH-IR: Neuronas tirosina-hidroxilasa inmunorreactivas  
TrkB: Tropomiosina quinasa B  
VEGF: Factor de crecimiento endotelial vascular  
VEGFR: Receptores tirosina cinasa 1 y 2  
VO<sub>2</sub>máx: Consumo máximo de oxígeno  
WCST: Test de cartas de Wisconsin  
WCST-A: N<sup>a</sup> aciertos

WCST-C: N<sup>a</sup> categorías correctas

WCST-E-P: Error perseverativo

## **Resumen.**

La presente investigación se centró en determinar la magnitud de la respuesta de IGF-1 medido en saliva tras realizar un programa de entrenamiento HIIT. A su vez, se comprobó el efecto en variables relacionadas con la salud, como son la composición corporal, condición física, calidad de vida y funciones ejecutivas. Éstas se midieron a través de las pruebas Stroop test (ST), test de cartas de Wisconsin (WCST) y Digit Span test (DST). Además, se determinó el efecto agudo de un esfuerzo máximo en la concentración de IGF-1 y en las funciones ejecutivas en los tres momentos que se evaluaron (Pre, post y *Follow up*). Un total de 58 mujeres jóvenes universitarias y sedentarias participaron de forma voluntaria en la investigación, en la cual desarrollaron un programa de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) durante 12 semanas, con una frecuencia de tres entrenamientos/semana. La población de estudio fue aleatorizada en tres grupos, siendo estos el grupo control (GC) el cual no realizó ningún cambio en su estilo de vida y dos grupos de intervención. Por un lado, se encontraba el grupo HIIT (tres entrenamientos HIIT/semana) y el grupo HIIT+AF (tres entrenamientos HIIT junto a un incremento de su AF diaria). Antes de desarrollar el programa, tras su finalización y tras un periodo de tres meses de seguimiento (*Follow-up*), todas las mujeres fueron evaluadas para comprobar el estado de las diferentes variables estudiadas en cada momento. Los resultados muestran cómo un programa de entrenamiento HIIT con una duración de 12 semanas puede mejorar de forma significativa la concentración de IGF-1 en mujeres jóvenes universitarias y sedentarias. Además, se observó que las mejoras dadas se incrementaron en mayor medida tras la evaluación de *Follow-up*, obteniendo el grupo HIIT+AF un mayor porcentaje de cambio. Respecto al efecto agudo, en la evaluación inicial se pudo observar un incremento significativo en la concentración de IGF-1 en todos los grupos del estudio. Por otro lado, respecto a las funciones ejecutivas, tan solo el grupo HIIT+AF



obtuvo una mayor eficiencia en el control inhibitorio (ST) tras el programa de entrenamiento. En relación al efecto agudo, se observa que un esfuerzo máximo de forma incremental puede mejorar el rendimiento en el control inhibitorio. El grupo HIIT+AF en la evaluación inicial y el GC en la evaluación Post, obtuvieron un incremento significativo en dicha función ejecutiva. Respecto a la flexibilidad cognitiva (WCST), existen ciertas mejoras en los grupos HIIT y HIIT+AF tras el programa HIIT, pero es tras el *Follow-up* cuando el grupo HIIT+AF muestra un mayor rendimiento. Respecto a la memoria de trabajo, el grupo HIIT obtuvo un cambio significativo tras el programa de entrenamiento y tras el periodo de *Follow-up* en la prueba DST hasta atrás (DST-I), la cual requiere de una mayor demanda de la memoria de trabajo. En relación a la composición corporal, todos los grupos consiguieron una reducción significativa del porcentaje de masa grasa, manteniéndose tras el periodo de *Follow-up* tan solo en los grupos HIIT. La masa muscular incrementó de forma significativa en los grupos HIIT tras las 12 semanas de entrenamiento, y además los beneficios se mantuvieron pasados los tres meses de *Follow-up*. Por último, respecto a la calidad de vida tras el programa de entrenamiento, principalmente se observaron cambios en el grupo HIIT+AF, especialmente en la vitalidad, salud general y salud mental. Se puede concluir, por tanto, que, el ejercicio físico de alta intensidad supone un esfuerzo eficaz para la estimulación del IGF-1 y así potenciar las funciones ejecutivas. Además, los resultados parecen indicar que dicha estimulación y sus posibles adaptaciones pueden darse en mayor medida a largo plazo, algo que debe ser tenido en cuenta en futuras investigaciones. A su vez, este programa de entrenamiento es efectivo para mejorar la composición corporal, condición física y calidad de vida, siendo más notorio junto a un incremento de actividad física diaria.

**Palabras clave:** IGF-1, funciones ejecutivas, ejercicio interválico de alta intensidad, salud mental, mujeres jóvenes sedentarias.

## **Abstract.**

The present investigation focused on determining the magnitude of the IGF-1 response measured in saliva after a HIIT training program. In turn, the effect on health-related variables such as body composition, physical condition, quality of life and executive functions was tested. These were measured by means of the Stroop test (ST), Wisconsin Card Test (WCST) and Digit Span Test (DST). In addition, the acute effect of a maximal effort on IGF-1 concentration and executive functions was determined at the three moments that were evaluated (Pre, Post and *Follow up*). A total of 58 sedentary young university women voluntarily participated in the research, in which they underwent a high interval intensity training (HIIT) program for 12 weeks, with a frequency of three workouts/week. The study population was randomized into three groups, being the control group (CG), which did not make any changes in their lifestyle and two intervention groups. On the one hand, there was the HIIT group (three HIIT workouts/week) and the HIIT+AF group (three HIIT workouts together with an increase in their daily physical activity). Before developing the program, after its completion and after a three-month *Follow-up* period, all the women were evaluated to check the status of the different variables studied at each moment. The results show how a HIIT training program lasting 12 weeks can significantly improve the IGF-1 concentration in young sedentary university women. Furthermore, it was observed that the given improvements increased to a greater extent after the *Follow-up* evaluation, with the HIIT+AF group obtaining a higher percentage of change. Regarding the acute effect, a significant increase in IGF-1 concentration was observed in all the study groups at the initial evaluation. On the other hand, with respect to executive functions, only the HIIT+AF group obtained greater efficiency in inhibitory control (ST) after the training program. In relation to the acute effect, it is observed that

an incremental maximal effort can improve performance in inhibitory control. The HIIT+AF group in the initial evaluation and the CG in the Post evaluation, obtained a significant increase in this executive function. Regarding cognitive flexibility (WCST), there are certain improvements in the HIIT and HIIT+AF groups after the HIIT program, but it is after the *Follow-up* when the HIIT+AF group shows a higher performance. Regarding working memory, the HIIT group obtained a significant change after the training program and after the *Follow-up* period in the DST to back test (DST-I), which requires a greater demand on working memory. In relation to body composition, all groups achieved a significant reduction in the percentage of fat mass, which was maintained after the *Follow-up* period only in the HIIT groups. Muscle mass increased significantly in the HIIT groups after 12 weeks of training, and the benefits were maintained after three months of *Follow-up*. Finally, regarding quality of life after the training program, changes were mainly observed in the HIIT+AF group, especially in vitality, general health and mental health. Therefore, it can be concluded that high-intensity physical exercise is an effective effort to stimulate IGF-1 and thus enhance executive functions. Furthermore, the results seem to indicate that such stimulation and its possible adaptations may occur to a greater extent in the long term, something that should be taken into account in future research. In turn, this training program is effective in improving body composition, physical condition and quality of life, being more noticeable in conjunction with an increase in daily physical activity.

**Keywords:** IGF-1, executive function, high interval intensity training, mental health, sedentary young female

## INTRODUCCIÓN.

El sedentarismo, entendido como una actividad que requiere un movimiento corporal mínimo (Lynch et al., 2010), es uno de los principales factores responsables de enfermedades crónicas en personas adultas.

El tiempo en posición sedentaria se ha detectado como un indicador de salud negativo en una población adulta. Esto se debe a la directa relación existente entre una posición sedentaria mantenida con la prevalencia de sobrepeso y obesidad, enfermedades cardiovasculares, peor condición física, osteoporosis, diabetes, cáncer, y una reducción de la funcionalidad psicosocial (Costigan et al., 2013).

Centrándonos en las edades más comunes entre universitarios, 18 y 25 años, se observa cómo se produce un descenso importante en la práctica de ejercicio físico en esta etapa educativa (Grim et al., 2011). Ello hace que no se alcancen las recomendaciones de ejercicio físico planteadas por la OMS (J. M. Cancela et al., 2019). Además, si se compara entre sexos, en mujeres se encuentra un 8% más de inactividad frente a los hombres (King et al., 2014).

Por estos motivos, y teniendo en cuenta que la población femenina es una población vulnerable a reducir de forma significativa su práctica de actividad física (AF) con la edad (Cohen et al., 2019), es interesante investigar sobre los posibles factores relacionados con la salud que esto conlleva, como la calidad de vida, la condición física y la salud mental. Esta problemática social, nos lleva a pensar que aunque en términos general, en mujeres entre 20 y 30 años, no existe un ratio elevado de morbilidad y mortalidad (Kvintová & Sigmund, 2016), esta falta tanto de AF y de ejercicio físico puede generar enfermedades en edades posteriores (Plotnikoff et al., 2015),

conllevando a un alto riesgo de un mayor estrés, ansiedad, disfunción cognitiva e incluso elevar todas las causas de mortalidad.

Esto hace que sea necesario crear estrategias efectivas para abordar factores relacionados con la salud en general, y concretamente con la salud mental, cognición y funciones ejecutivas. En esta línea, podemos encontrar diversos tipos de estrategias no farmacológicas para mejorar la calidad de vida y la salud mental en jóvenes universitarias y así crear conductas menos sedentarias. Entre ellas, debemos destacar el ejercicio físico.

El ejercicio físico, en muchas de sus manifestaciones, ha demostrado ser una estrategia útil para la mejora del rendimiento en dichas funciones ejecutivas tanto en niños (Kirk et al., 2011; Stanley et al., 2016), adolescentes, adultos y ancianos (Bossers et al., 2015; Falck et al., 2016; Heath et al., 2016).

Esta incidencia positiva en el cerebro y sus funciones del ejercicio físico puede ser justificado debido a su efecto de plasticidad y crecimiento neuronal. De hecho, realizar ejercicio físico aporta un mayor flujo sanguíneo cerebral, una mayor estimulación de la neurogénesis, optimización de las interconexiones sinápticas y una mayor generación de factores neurotróficos, como por ejemplo el IGF-1 (Rentería et al., 2019).

Diferentes tipos de ejercicio físico, muestran un efecto diverso en las funciones ejecutivas y en la estimulación del IGF-1. Así, el ejercicio aeróbico parece mostrar una mayor capacidad antioxidativa en el cerebro, mientras que la estimulación de la capacidad anaeróbica o alta intensidad, parecen reducir las respuestas antioxidantes. Por otro lado, el entrenamiento de fuerza muestra una mayor plasticidad sináptica hipocampal (Norman et al., 2018).

En los últimos años, existe un alto interés por conocer el efecto del entrenamiento de alta intensidad en diferentes variables de la salud, como la condición física y la psicológica (Eather et

al., 2019). Este tipo de entrenamiento, normalmente consiste en la ejecución de un ejercicio a una intensidad elevada combinado con un periodo de descanso entre ejercicio. Uno de los principales beneficios de este tipo de entrenamiento, es que puede ser desarrollado en un corto espacio de tiempo en comparación con el trabajo aeróbico.

Como consecuencia de su práctica, en estudios previos con mujeres, se ha comprobado mejoras tanto en la condición física (Reljic et al., 2019), en parámetros cardiometabólicos como el control glicémico (Metcalf et al., 2016), y en las funciones cognitivas (Rentería et al., 2019). Aun así, no existe una literatura científica específica para ver el efecto del entrenamiento de alta intensidad en mujeres sedentarias y su efecto en la condición física, salud mental y calidad de vida. Por este motivo se quiere comprobar el efecto de este tipo de ejercicio físico en la población descrita.

Por tanto, partiendo de esta premisa, tras lecturas previas y compartiendo ideas con expertos, se presenta necesario profundizar en el análisis de los efectos de la práctica de este tipo de ejercicio físico en jóvenes universitarias sedentarias. Así se podrán crear estrategias o recomendaciones que influyan en su calidad de vida y salud.

En relación a su estructura, el presente documento dispone de un total de 11 capítulos. En el primero de ellos, destinado al marco teórico, se realiza una aproximación estructural y funcional de las funciones ejecutivas, profundizando en los principales factores de crecimiento neuronal que pueden hacer incrementar el rendimiento de estas funciones ejecutivas. Entre todos los factores, se desarrolla el IGF-1, el cual ha mostrado jugar un rol importante en el proceso de neuroplasticidad del ser humano. Además, a través de investigaciones anteriores se debate sobre el efecto del ejercicio físico, más concretamente de alta intensidad, como modulador de la respuesta de IGF-1 y cómo se relaciona con las funciones ejecutivas. De esta forma, todos los

resultados encontrados previamente han permitido converger en la problemática planteada en el segundo capítulo. En los capítulos tercero y cuarto se abordan los objetivos e hipótesis planteadas según los problemas de investigación planteados anteriormente.

La metodología de la investigación se detalla en el capítulo quinto, destacando el proceso de selección y tipo de muestra, las características del programa de entrenamiento desarrollado, así como el proceso de recolección y medición de las concentraciones de IGF-1 medidas en saliva. Además, se describen las diferentes pruebas utilizadas durante los tres momentos de evaluación para conocer el estado de la población en relación a la condición física, composición corporal, calidad de vida, funciones ejecutivas y la concentración de IGF-1, variable principal del estudio. Este capítulo acaba con los cálculos estadísticos empleados.

El capítulo sexto aborda los resultados encontrados según los objetivos planteados. Por ello, se presentan de forma organizada según éstos. A continuación, en el capítulo séptimo se discute sobre los resultados obtenidos frente a la literaturas y hallazgos por parte de investigaciones similares.

El siguiente capítulo, desarrolla las conclusiones enunciadas acorde a los objetivos e hipótesis del estudio. A continuación, en el capítulo noveno se abordan nuevas perspectivas de investigación una vez analizados y discutidos los datos de los resultados.

Finalmente, el capítulo décimo se centra en las referencias bibliográficas usadas durante toda la redacción del presente documento.

# MARCO TEÓRICO

---



## **1. MARCO TEÓRICO.**

### **1.1. Función cognitiva: bases neurofisiológicas de la cognición.**

La cognición es una de las capacidades más importantes del ser humano, la cual le permite una continua adaptación al entorno que le rodea. Esto es posible debido al sistema nervioso y a su capacidad de realizar adaptaciones a través de experiencias pasadas y además generar nuevos aprendizajes. A esta habilidad se le conoce como memoria (Cassilhas et al., 2016).

#### ***1.1.1. Revisión anatómica y funcional.***

El lóbulo frontal, sector de la corteza cerebral del ser humano, ha sido motivo de estudio en profundidad en las dos últimas décadas. Aun así, debido a su complejo desarrollo y organización, no se ha llegado a entender en su totalidad ni su estructura ni su funcionalidad, como tampoco la interrelación con otras zonas cerebrales (Turnbull, 2002).

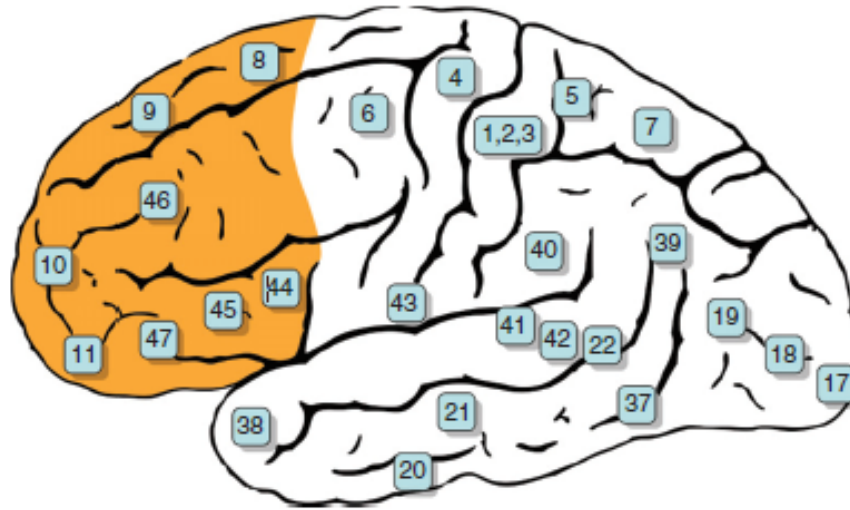
Una de las zonas fundamentales en la funcionalidad cerebral, el córtex cerebral, queda separado en la parte superior por la cisura de Rolando o también conocida como surco central. Ésta divide el lóbulo frontal del lóbulo parietal. La pared anterior de esta fisura la conforma la corteza motora primaria y la posterior el córtex somatosensorial primario. Por tanto, queda bien diferenciada la zona anterior, encargada de planificar y pensar el movimiento voluntario, de la parte posterior más centrada en la capacidad perceptiva (Geyer et al., 2011).

La corteza frontal se divide en tres zonas bien diferenciadas, desde zonas más posteriores hasta zonas más rostrales, siendo éstas las siguientes:

- a) Corteza motora primaria (área 4).
- b) Corteza premotora (área 6).
- c) Córtex prefrontal: las zonas restantes del lóbulo frontal.

**Figura 1**

*Regiones del cerebro con la correspondiente numeración según el mapa citoarquitectónico del córtex prefrontal de Brodmann (Geyer et al., 2011).*



Antes de adentrarnos en la corteza prefrontal, se debe conocer la parte más externa del cerebro, donde nos encontramos con el neocórtex, encargado de recubrir cada uno de los lóbulos. Esta zona queda compuesta por finas capas de tejido neuronal, (materia gris), que envuelve a la superficie. A pesar de referirnos a una fina capa, ésta no se da de forma homogénea. Por ello, podemos diferenciar, en realidad 6 capas. Cada una de ellas dispone de una característica y funcionalidad precisa (Flores-Lázaro, 2012):

1. Capa molecular: es la más externa y también conocida como plexiforme. Compuesta casi en su totalidad de fibras largas blancas que se transmiten a través de la superficie sináptica horizontal relacionando áreas de la corteza con otras áreas corticales.
2. Capa granular externa: en esta capa, compuesta de células estrelladas y piramidales, los axones se proyectan de forma horizontal hacia zonas más profundas de la corteza cerebral.

3. Capa piramidal externa: compuesta de células piramidales, realiza una función similar a la capa anterior.
4. Capa granular interna: la conforman principalmente células estrelladas, las cuales quedan ordenadas de forma horizontal. En esta capa finalizan la mayoría de fibras aferentes, recibiendo especialmente, aferencia desde el tálamo.
5. Capa piramidal interna y capa multiforme (sexta capa): en éstas se ubican la mayoría de células estrelladas, las cuales se proyectan hacia las zonas subcorticales.

Desde el punto de vista neuroanatómico, dentro del córtex prefrontal, por un lado, se describe el circuito ventromedial. Este circuito queda relacionado con el sistema límbico, por lo que se asocia con el procesamiento de emociones, así como la toma de decisiones según el estado afectivo (Tirapu Ustárroz & Muñoz Céspedes, 2005). Por otro lado, el circuito dorsolateral, el cual proviene del manto cortical del hipocampo, se relaciona con acciones cognitivas englobadas dentro de las funciones ejecutivas, tales como la atención selectiva, la memoria de trabajo y el control inhibitorio (Tirapu Ustárroz & Muñoz Céspedes, 2005).

Todo esto, hace pensar que el córtex prefrontal funciona de forma heterogénea, aun así, su citoarquitectura es indivisible respecto a su funcionalidad. Esto es posible a través de las diversas conexiones recíprocas existentes entre diversas zonas cerebrales (Fuster, 2002). Por tanto, podemos observar cómo los lóbulos frontales se conectan de forma recíproca con las cortezas occipital, parietal y temporal, así como con el sistema límbico, (hipocampo y amígdala) (Catani, 2019).

Por tanto, desde el punto de vista de la citoarquitectura cerebral, el córtex prefrontal, presenta 3 regiones: dorsolateral, ventromedial y orbitofrontal (Fuster, 2002). Estas regiones están

conectadas entre ellas y a su vez mantienen interacción con otras estructuras corticales y subcorticales.

El desarrollo de las diferentes zonas del córtex prefrontal se da en diferentes etapas temporales, siendo la corteza prefrontal la última en su desarrollo. Esto provoca una evolución de forma progresiva de la cognición, lo que hace que el ser humano adquiera paulatinamente competencias como la atención, el control inhibitorio, creación de pensamientos abstractos, etc., (Fuster, 2002).

#### **1.1.1.1. Corteza dorsolateral.**

La corteza dorsolateral es la encargada de los procesos cognitivos más complejos que el hombre ha desarrollado a lo largo de su evolución (Fuster, 2002). Estas funciones se ubican en la zona más anterior de esta corteza (Kikyo et al., 2002), y entre su funcionalidad se encuentra la planificación, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, la fluidez, solución de problemas complejos, flexibilidad mental y secuenciación, entre otras (Alvarez & Emory, 2006).

Entre sus varias conexiones con otras áreas, podría destacarse como esta corteza recoge la información tanto de la corteza parietal posterior como del surco temporal superior. Además, esta zona dispone conexiones con otras zonas cerebrales que se vinculan con la corteza parietal posterior, que estarían más involucrados en con regiones como el colículo superior, los ganglios basales y la corteza cingulada. Además, debido a la relación existente con la zona parietal posterior, la corteza prefrontal dorsolateral queda implicada de forma implícita en la toma de decisiones en el movimiento y, por ende, con el control motor (Alvarez & Emory, 2006).

### **1.1.1.2.Corteza ventromedial.**

La corteza ventromedial queda ubicada en la zona ventral del córtex prefrontal. Esta zona recibe información interoceptiva, tanto de estructuras subcorticales como corticales, lo que permite que el lóbulo frontal pueda estar alerta sobre el estado fisiológico de la persona (A. D. Craig, 2002).

Así, debido al complejo entramado de sus conexiones con otras áreas cerebrales (Ustárroz et al., 2012), hace que tenga una importancia funcional, implicándose en procesos cognitivos como la detección y solución de conflictos, inhibición, y esfuerzo atencional. Además, se encarga de la regulación de la agresión y del estado motivacional (Fuster, 2002).

Por otro lado, esta zona adopta un rol importante en el aprendizaje, ya que incide en la consistencia temporal ante las acciones conductuales. Así, junto con la zona orbital controlan la consistencia temporal de la conducta y la atención, además de integrar las posibles intervenciones excitatorias e inhibitorias (Cohen, 2014).

### **1.1.1.3.Corteza orbitofrontal**

La corteza orbitofrontal, la cual recibe este nombre por su ubicación, inmediatamente sobre las órbitas en la que se encuentran los ojos, está estrechamente ligada con el sistema límbico.

Esta corteza queda dividida en tres subzonas, las cuales son (Flores-Lázaro, 2012):

- a) Porción medial: relacionada con el reconocimiento de sabores, olores y estados fisiológicos.
- b) Porción lateral: encargada del procesamiento de información visual y somatosensorial.
- c) Porción posterior: procesa los estados afectivos.

Por ello, entre las funciones principales de esta área se encuentran la regulación de las emociones, las recompensas, las conductas sociales y afectivas, además del procesamiento de las tomas de

decisiones (Damasio, 1996). Junto a esta implicación, a esta zona también se le relaciona con la capacidad sensorial (Elliott et al., 2000; Kringelbach, 2005).

### ***1.1.2. Lóbulos frontales y función cognitiva.***

Los lóbulos frontales facilitan diversos procesos neuropsicológicos, los cuales van desde el control y secuenciación de actos motores, necesarios para la ejecución eficaz de una acción motriz hasta el control de la atención, la metacognición, la cognición social y la memoria (Tirapu-Ustárrroz & Muñoz-Céspedes, 2005; Turnbull, 2002). De esta forma, se puede decir que los lóbulos frontales son los encargados captar la información de las estructuras restantes y coordinarlas para actuar de la forma más adecuada en cada situación.

En relación a la conducta humana, se ha estudiado en los lóbulos frontales la capacidad de identificar y seleccionar las respuestas más apropiadas para una condición determinada y así evitar las respuestas impulsivas (Shallice & Burgess, 2001). Se ven implicados en el procesamiento de nueva información y la incorporación en patrones o actitudes ya adquiridas y en la toma de decisiones.

De esta forma, podemos ver cómo el lóbulo frontal tiene un rol importante en la organización, búsqueda, selección y verificación de la información almacenada. Por tanto, aunque no actúa directamente en el proceso de almacenamiento, tiene un papel fundamental en la recuperación y verificación de la información (Tirapu Ustárrroz & Muñoz Céspedes, 2005).

Además, estudios previos, los cuales pretendían conocer en profundidad el rol del lóbulo frontal (Baddeley et al., 1997), han podido comprobar cómo daños en esta zona no generan alteraciones significativas en la motricidad, el habla o incluso en la memoria, pero sí pueden generar cambios notorios a nivel social y conductual. Por ello, de forma habitual se relacionan los

lóbulos frontales con las funciones ejecutivas, las cuales son las funciones más complejas del ser humano (Turnbull, 2002).

### ***1.1.3. Neuroplasticidad. Principales factores de crecimiento neuronal.***

A través de los científicos William (1890) y Ramón y Cajal (1895) se estableció que en las primeras etapas del desarrollo del ser humano se dispone de un enorme potencial de plasticidad y que éste se va perdiendo gradualmente con el tiempo.

Aun así, antes de llegar a esta concepción y conocimiento del funcionamiento del cerebro, éste era un gran desconocido. Fue en 1861 cuando se comienza a hablar a través de Pierre Paul Broca, del lenguaje humano como función encefálica, quedando ubicada en el giro frontal inferior izquierdo. Posteriormente, trece años después, Carl Wernicke confirma lo visto anteriormente, aportando otra ubicación cerebral cuando se requiere de una comprensión, siendo esta la parte posterior del giro temporal superior izquierdo.

Es en 1888 cuando Ramón y Cajal señala que la estructura cerebral está conformada de subunidades o neuronas. Esta idea era contraria a otros paradigmas en esa fecha, como la concepción de Golgi, el cual defendía la estructura cerebral como un gran sincitio (Garcés- Viera & Suarez Escudero, 2014).

De esta forma, entre 1860 y 1890 se desarrollan las primeras teorías moderna de neurociencia, donde se entiende que toda función sensorial, motora y cognitiva dispone de una ubicación específica. El propio Ramón y Cajal plantea la teoría neuronal, donde se entiende que las neuronas son las unidades funcionales y estructurales del cerebro. Más recientemente, aparece la corriente conexionista, donde se explica el funcionamiento del cerebro mediante redes y subredes cortico subcorticales quedando éstas interconectadas (Garcés- Viera & Suarez Escudero, 2014).

Todos estos planteamientos nos llevan al concepto de neuroplasticidad, que podemos entenderlo como la capacidad cerebral para adaptarse a los cambios ambientales, lesiones, alteraciones o nuevos aprendizajes modificando la conectividad neuronal (Knaepen et al., 2010).

Esta definición, a pesar de su simplicidad, ha sido estudiada en diferentes niveles del sistema nervioso, como por ejemplo los canales iónicos, sinapsis, neuronas, mapas corticales y la propia conducta. Estos niveles además están interconectados, pero de igual forma éstos pueden ser estudiados de forma independiente. Por estos motivos, la neuroplasticidad se entiende como un concepto complejo (Hötting & Röder, 2013).

Acciones relacionadas con la neuroplasticidad, tales como el aprendizaje, relaciones sociales y el ejercicio físico entre otros, provocan cambios en la liberación de neurotransmisores, y como consecuencia se generan cambios estructurales en el córtex cerebral. Este mecanismo puede desencadenar en una cascada de eventos neuroquímicos, lo que provoca cambios estructurales en dicho córtex, tales como la formación de nuevas sinapsis o la optimización de las conexiones sinápticas (Hötting & Röder, 2013).

Como consecuencia de esta generación y optimización en ciertas estructuras cerebrales, a través de la incidencia en la sinapsis y la conectividad neuronal, hace que la neurogénesis se convierta en un mecanismo de plasticidad cerebral (Batouli & Saba, 2017).

Este nacimiento de nuevas células cerebrales no ocurre en un solo momento, sino que se da a través de un proceso controlado. Primero, las células madres multipotenciales se dividen en el cerebro, generando una célula madre y otras células que actúan como precursoras de neuronas o células gliales. Aproximadamente, tan solo la mitad de éstas acaban el proceso con éxito. El motivo de esta supervivencia, es la capacidad de establecer conexiones activas con otras neuronas. Así, tras acabar el proceso, estas células se convertirán en neuronas o glía (Zúñiga, 2017).



### **1.1.3.1. Factor Neurotrófico derivado del cerebro (BDNF).**

La neurogénesis está regulada por una serie de moléculas presentes en el sistema nervioso de forma natural, conocidas como los factores de crecimiento. De esta forma, tras la generación de nuevas células y durante su maduración, diversos factores de crecimiento como el BDNF, las neurotrofinas y el factor de crecimiento insulínico, adoptan un papel fundamental en la funcionalidad, maduración y supervivencia de estas células y por tanto, facilitan la neuroplasticidad (Alvarez-buylla & Garc1, 2002).

Las acciones de estos neurotransmisores quedan implicadas en diversos mecanismos relacionados a la neuroplasticidad, como es la regulación del metabolismo neuronal (Gomez-pinilla et al., 2008). Además, están involucrados en el músculo esquelético, participando en los procesos de oxidación del metabolismo celular mediante la acción de la proteína kinasa activada por la adenosina monofosfato (AMPK) (Matthews et al., 2009).

BDNF es la proteína básica conformada por 252 aminoácidos y que es codificada por el gen BDNF, de 70 Kb y localizado en el brazo corto del cromosoma 11, banda p13 (11p13), el cual contiene 11 exones y 9 promotores funcionales. Al igual que el resto de neurotrofinas, el BDNF tiene un único exón codificador, el exón 3', por lo que indica la existencia de señales de polaridad, responsables de la activación y/o acumulación, de componentes de crecimiento de las células (Pruunsild et al., 2007).

Ésta aparece cuando en los años 50, se descubrió el pilar de esta familia de proteínas, Nerve Growth Factor (NGF) (Cohen et al., 1954) y a continuación, se descubrió BDNF (Barde et al., 1982). Actualmente, dentro de la familia de las neurotrofinas, es la más estudiada. Debido al descubrimiento de estas dos secuencias de proteínas fundamentales, permitió encontrar otras proteínas como la Neurotrophin 3 (NT-3) y Neurotrophin 4 (NT-4). Este conjunto de proteínas

adoptan un rol importante en la generación de la estructura y funcionalidad neuronal, tanto a nivel periférico como central (H. Park & Poo, 2013).

Centrándonos en la función del BDNF y sus propiedades, ésta se encarga de casi todos los procesos del desarrollo y mantenimiento de los circuitos neuronales, crecimiento dendrítico y axonal, sinaptogénesis y plasticidad sináptica (B. Lu et al., 2014; H. Park & Poo, 2013).

BDNF presenta 3 isoformas, las cuales son proBDNF, mBDNF y pBDNF. Según la actividad a desarrollar, pueden ser secretadas de forma independiente. Además, según el complejo receptor que se unan, pueden generar resultados diversos (Anastasia et al., 2013).

Esta expresión BDNF y sus isoformas, quedan controladas con el polimorfismo BDNF Val66Met, haciendo modular la secreción y funcionalidad de BDNF en humanos. El Val66Met es un polimorfismo común de un solo nucleótido (SNP), que provoca una sustitución de aminoácidos en el péptido proBDNF en el codón 66 (Yates et al., 2016).

El promedio de esta mutación genética es de un 20-30% (Z. Chen et al., 2008) en la población general, afectando un 1% en África y un 48.8% en Asia (U.S. National Library of Medicine, 2019). Estas diferencias significativas entre estos continentes muestran el impacto de diversas variables en la estimulación del BDNF. Por ello, y al margen de los resultados anteriores, es necesario tener en cuenta diversos factores que inciden en esta estimulación o inhibición del BDNF.

El estrés se ha mostrado como uno de los grandes inhibidores del BDNF. Según la revisión sistemática de C. Park et al. (2019) cada vez es más evidente que los factores de estrés mantenidos interactúan con el genoma y provocan cambios de forma duraderos en el tiempo, llegando incluso a provocar cambios en la estructura del ADN y en el comportamiento.

En relación al estrés, la depresión y la falta de estimulación social lleva a niveles más bajos de BDNF (Zaletel, 2017). A través de la situación actual, COVID-19 y el aislamiento social de forma

forzada que se ha vivido, ha generado una alta incidencia de alteraciones psicológicas en la población en general. Esto puede conllevar trágicas consecuencias en la salud mental de las personas en los próximos años (Salari et al., 2020).

Por otro lado, el sueño y la calidad del mismo hace ejercer una efecto potenciador del BDNF, ya que en sujetos que no reportan un buen descanso, se ha observado un descenso en el desempeño cognitivo, promovido por un descenso de este neurotransmisor (Giese et al., 2013).

Por último, el ejercicio físico ha mostrado ser un potenciador de la neurogénesis, siendo notablemente estudiado en el ámbito de los factores neuroprotectores, principalmente BDNF (De Assis et al., 2018; De Sousa Fernandes et al., 2020). Aun así, para entender el verdadero efecto del ejercicio físico en BDNF y en los cambios en diversos dominios cognitivos, como las funciones ejecutivas, es necesario profundizar en las principales variables de la programación del entrenamiento como son, intensidad, duración, tipo de ejercicio, etc., ya que según estos puede variar el grado de estimulación neurotrófica (Hötting & Röder, 2013).

#### **1.1.2.1. Factor insulínico de crecimiento (IGF-1).**

Las somatomedinas son un grupo de polipéptidos, o también conocidos como IGF-1, los cuales actúan sobre diversos procesos celulares y crucial en el crecimiento y desarrollo del SNC (Dyer et al., 2016).

El grupo de somatomedinas incluyen el IGF-1 y IGF-2, los cuales disponen de un 50% de similitud al aminoácido precursor de la insulina. Por este motivo, se dispone de un efecto similar a la insulina, pero además posee efectos anabolizantes en el músculo esquelético, cartílago, hueso y piel (Aránguiz et al., 2006). La estructura de IGF-1 forma una cadena única de 70 aminoácidos con 3 puentes disulfuro intermoleculares (Rinderknecht & Humbel, 1978).

Aunque los 3 polipéptidos tienen estructuras similares, cada uno tiene un origen diferente. La insulina o proinsulina, se sintetiza en la célula pancreática  $\beta$ . La señalización de los dos polipéptidos restantes puede detectarse en el tejido conectivo de 14 órganos (Frysak et al., 2015). De esta forma, IGF-1 se transporta por el torrente sanguíneo hasta encontrar a su receptor IGF-1R. Este es un receptor transmembrana tirosina quinasa. De esta forma el SNC recibe impulsos tanto endocrinos como paracrinos de IGF-1. Estos son producidos por todos los tipos de células del SNC, pero especialmente por las ubicadas en la corteza, el hipocampo, el hipotálamo (Dyer et al., 2016), el septum y la amígdala (Xu et al., 2014).

La unión de IGF-1 y IGF-1R puede activar dos vías de señalización, las cuales pueden ser la vía de la Kinasa-AKT o la vía RAS-RAF-MAP (Ye et al., 2010). Entre los más importantes efectores descendentes de la PI3K-Akt se encuentran la rapamicina (mTOR), el glucógeno sintasa cinasa 3b (GSK3b) y b-catenina (Sala et al., 2015). En la vía RAS-RAF-MAP, el IGF-1 muestra una rápida fosforilación y activación de Erk1/2 y p38 MAPK, lo cual es fundamental en la maduración y supervivencia celular (Ye et al., 2010).

Esta señalización del IGF-1 se muestra como un potente facilitador de la plasticidad cerebral en jóvenes y adultos. Por ello, una sobreexpresión de IGF-1 da lugar a un mayor número de neuronas totales en la corteza cerebral. Además, el IGF-1 adopta importantes acciones en el desarrollo axonal y la formación de sinapsis, posiblemente a través de sus acciones en la vía PI3K-AKT (Fernandez & Torres-Alemán, 2012). El IGF-1 también desarrolla un papel importante en la proliferación y migración de las neuronas, así como en la sinaptogénesis neuronal en el SNC (Hurtado-chong et al., 2009). La sobreexpresión de IGF-1 estimula un aumento en el número de sinapsis, destacando su importante papel en la sinaptogénesis (Kusky et al., 2000).

Por estos motivos, el IGF-1 adopta un rol importante en la neurogénesis en el hipocampo de jóvenes y adultos (Aberg et al., 2006). Así, la estimulación del IGF-1 y su efecto en las capacidades ejecutivas, han sido estudiado en profundidad en jóvenes adultos. Entre las terapias más efectivas para su estimulación, el ejercicio físico ha demostrado ser un mediador crucial del aumento de la neurogénesis (El-sayes et al., 2019).

#### **1.1.2.2.Otros factores de crecimiento neuronal.**

##### ***1.1.2.2.1. Factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF).***

El VEGF es una proteína conocida principalmente por la importante implicación en la vasculogénesis y en la angiogénesis. Ésta puede unirse a diferentes receptores: los receptores tirosina cinasa (VEGFR) 1 y 2, con una mayor afinidad por VEGFR1 (Levy et al., 2018).

Bajo esta funcionalidad del VEGF, se considera como un potente factor neurotrófico, que induce a la neurogénesis, supervivencia neuronal y proliferación de la célula glial (Carmeliet & Ruiz, 2013). Estudios experimentales han mostrado cómo VEGF conlleva un incremento en el crecimiento, maduración y proliferación neuronal (Khaibullina et al., 2004). Además, también se le asigna un rol importante en el desarrollo de dendritas y axones (Khaibullina et al., 2004).

Por último, se debe destacar la capacidad de VEGF de promover neurogénesis a través de la liberación de otros factores neurotróficos tras la estimulación de células endoteliales (Yamada, 2016).

##### ***1.1.2.2.2. Factor de crecimiento fibroblastos (FGF)***

La familia del factor de crecimiento de fibroblastos (FGF) son necesarios para la proliferación y maduración de las neuronas en la zona subventricular, y subgranular del giro dentado del hipocampo (Woodbury & Ikezu, 2014).

Este conjunto de factores neurotróficos está compuesto por 18 ligandos y 4 subtipos de receptores. En general, los ligandos más estudiados son el FGF1, el cual comúnmente se manifiesta en las neuronas, y el FGF2, el cual se encuentra tanto en las neuronas como en las células gliales (Levy et al., 2018). De esta forma, al igual que los factores de crecimiento anteriores, el FGF1 y el FGF2 son fundamentales para la regulación de la plasticidad sináptica (Liberto et al., 2014).

Como ejemplo de esta plasticidad, estudios previos donde se administró FGF2 en cerebros adultos a través de inyección intracerebroventricular, produjeron neurogénesis tanto en la zona subventricular y subgranular (Mudo et al., 2009). Por el contrario, a través de estudios con ratones en los que se eliminaba la función del FGF2, se demostró una reducción significativa de las neuronas recién generadas. Esta muerte celular en el hipocampo podría significar una defectuosa neurogénesis tras la limitación de FGF2 (Werner et al., 2011).

#### ***1.1.2.2.3. Factor neurotrófico derivado de las células gliales (GDNF).***

El GDNF fue descubierto en una línea celular glial pero se expresa en algunas regiones cerebrales. Esta forma parte del factor de crecimiento transformador  $\beta$  (TGF- $\beta$ ) y es fundamental para la supervivencia neuronal, especialmente para las neuronas dopaminérgicas y serotoninérgicas. Los receptores de éstas pertenecen a GDNF $\alpha$ 1 (GFR $\alpha$ 1), activando la señalización de la tirosina cinasa (Sharma et al., 2016).

Además, se ha observado cómo tras la administración de esta proteína, se produce una supervivencia mayor de las neuronas tirosina-hidroxilasa inmunorreactivas (TH-IR) junto a una mayor estimulación en el crecimiento de las neuritas y una mayor captación y liberación de las neuronas dopaminérgicas (Leyva et al., 2014).

## **1.2. Las funciones ejecutivas.**

Definición, modelos teóricos y clasificación de las funciones ejecutivas. Las funciones ejecutivas fueron identificadas por Luria en 1976, quien en su tratado “The working Brain: An Introduction to Neuropsychology”, se refirió a ellas pero sin usar este término. Este autor presentó la zona prefrontal en el cerebro clave para la planificación de tareas, programación de actividades y el cambio de actividades en función de los objetivos planteados.

Posteriormente, Muriel Lezak (1982) concretó y conceptualizó este concepto debido a la identificación de trastornos en pacientes con afectación frontal, los cuales presentaban problemas de motivación e iniciativa. Además, se encontraban con dificultad para plantearse objetivos y metas para poder conseguirlos. Por ello, definió a las funciones ejecutivas en el ámbito neuropsicológico como los procesos que asocian ideas, movimientos y acciones y los orientan a la resolución de problemas.

Debido al interés de las funciones ejecutivas, podemos encontrar diferentes definiciones según varios autores. En conjunto, podemos decir que las funciones ejecutivas son un conjunto de habilidades que se encuentran implicadas en la generación, supervisión, la regulación, la ejecución y el reajuste de conductas adecuadas para conseguir objetivos complejos, especialmente ante situaciones novedosas y que precisan de solución creativa (Gilbert & Burgess, 2008).

Los lóbulos frontales como estructura y las funciones ejecutivas como proceso, son los encargados de generar en el ser humano la conducta inteligente. Por ello, las funciones ejecutivas se entiende como los procesos mentales complejos (Tirapu-Ustároz et al., 2012).

Además, está contrastado que dichas funciones son vitales para el ser humano. Debido al continuo cambio existente en el entorno, las funciones ejecutivas nos permiten adaptarnos en las

diferentes facetas de la vida cotidiana, como, por ejemplo, en la preparación académica, el éxito laboral, la salud física o salud mental, entre otras (Diamond, 2013a) (Tabla 1).

Importancia de las funciones ejecutivas en diferentes aspectos de la vida (Adaptado de Diamond, 2013).

**Tabla 1**

*Importancia de las Funciones Ejecutivas en Diferentes Aspectos de la Vida. (Adaptado de Diamond, 2013).*

Aspectos de la Vida	Relevancia de las funciones ejecutivas (FE) para los aspectos de la vida.
Salud Mental	Las FE se ven perjudicadas en muchos trastornos mentales, entre ellos:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Adicción</li> <li>-Déficit de atención e hiperactividad</li> <li>-Trastorno de la conducta</li> <li>-Depresión</li> <li>-Trastorno obsesivo compulsivo</li> <li>-Esquizofrenia</li> </ul>
Salud Física	Un déficit en las FE se relaciona con obesidad, comer en exceso, abuso de sustancias y peor adherencia a tratamientos.
Calidad de Vida	Personas con mejor FE disfrutan de una mejor calidad de vida.
Rendimiento Académico	Las FE son más importantes para la preparación académica que el Coeficiente intelectual.
Éxito Laboral	Un peor rendimiento en las FE permite una peor productividad y mayor dificultad para encontrar y mantener un trabajo.



Seguridad Pública	Peor FE conduce a problemas sociales como la delincuencia, la conducta imprudente, violencia y descontrol emocional.
-------------------	--

Con el fin de categorizar las funciones ejecutivas, diferentes autores han desarrollado diversos modelos. Por ello, siguiendo la revisión de Echavarría (2017), se van a desarrollar los principales modelos teóricos que los explican (Flores, Lázaro & Ostrosky, 2012; Flores Lázaro, 2008; Portellano Pérez & García Alba, 2014; Tirapu-Ustárrroz et al., 2012).

a) Paradigmas de supervisión atencional orientada a objetivos.

En este paradigma se destaca el córtex prefrontal como centro de las acciones atencionales (Echavarría, 2017). De esta forma, aparecen diversas teorías y modelos, como, por ejemplo, la propuesta del Sistema Atencional Supervisor representado en la corteza prefrontal (Miller, 2007). En este modelo, tras comparar pacientes con lesiones frontales frente a una población normal, se señala que el comportamiento humano tiene ciertos esquemas mentales, los cuales son mediados por diferentes inputs de entrada y esto conlleva a una acción o respuesta (Flores, Lázaro & Ostrosky, 2012). Por otro lado, Stuss y colaboradores (citado por Tirapu-Ustárrroz et al., 2012), los cuales desarrollaron el modelo de control atencional, proponen siete funciones atencionales con su correspondiente ubicación anatómica: mantenimiento (frontal derecho), supresión (prefrontal dorsolateral), alternancia (prefrontal dorsolateral y frontal medial), preparación (prefrontal dorsolateral), atención dividida (cingulado y orbitofrontal), concentración (cingulado) y programación (prefrontal dorsolateral) (Echavarría, 2017). Por último, destacar la hipótesis de Shimamura (2000), en la cual se propone que la corteza prefrontal es la encargada de monitorizar y controlar la información a través de un proceso de filtrado, el cual sería selección, mantenimiento, actualización y redirección (Flores, Lázaro & Ostrosky, 2012).

b) Modelo de constructo único.

A través de este modelo, se pueden diferenciar otros que entienden el concepto de funciones ejecutivas desde diferentes paradigmas o constructos. Por un lado, se destaca el modelo del factor “G” y el factor “I” (Tirapu, 2012). El factor general “G” engloba a la inteligencia, la cual se mantiene igual frente a las capacidades relacionadas entre sí. Y el factor “I”, son aquellas capacidades específicas que dan variabilidad entre una persona y otra.

Otros autores, como John Duncan, plantean que la inteligencia se ubica en una zona delimitada del cerebro, precisamente en la corteza prefrontal lateral, y su funcionalidad surge del conjunto del cerebro (Flores, Lázaro & Ostrosky, 2012).

Por último, dentro de este modelo, Baddeley (1992) presenta a la memoria de trabajo como la capacidad que permite mantener mentalmente una información mientras se realiza una actividad o se resuelve un problema. Este modelo supone la presencia de un sistema de atención que se encarga de controlar a otros sistemas dependientes. Esto se conoce como “ejecutivo central” (Echavarría, 2017). La función de esta capacidad es mantener la atención hacia la información importante, suprimiendo lo irrelevante (Baddeley, 1992; Tirapu, 2005).

En la misma línea que este modelo de Baddeley, algunas revisiones plantean que la memoria de trabajo evolucionó respecto a su conceptualización, ya que anteriormente se consideraba como una memoria a corto plazo, mientras que otros autores comenzaron a entenderla como un sistema multicomponente (Musso, 2009).

c) Modelo de secuenciación temporal.

Dentro de este modelo, podemos encontrar la Teoría Representacional. En ella se indica que el córtex prefrontal tiene la función de manipular la información almacenada en otras zonas corticales y subcorticales. Por otro lado, se diferencia la Teoría del Córtex prefrontal y organización temporal de la conducta (Fuster, 2002). Este autor indica cómo la corteza prefrontal se encarga principalmente de estructurar temporalmente la conducta. Para ello usa cuatro mecanismos fundamentales: control inhibitorio, set preparatorio, memoria operativa y mecanismos de supervisión (Musso, 2009).

d) Modelos integradores “emoción-cognición”.

A través de los diversos estudios de Damasio (Angrino Quebradas, 2011) con pacientes lesionados en el córtex prefrontal, este autor pudo registrar en estos sujetos una mayor dificultad en las habilidades sociales y personales. A pesar de ello, mantenían una buena capacidad de razonamiento, toma de decisiones, capacidad intelectual, lenguaje y memoria de trabajo (Bruna & Ruano, 2012).

A través de otros estudios (Tirapu-Ustárrroz et al., 2012), se comprobó de qué manera afectan las emociones sobre el razonamiento y toma de decisiones, encontrándose cómo estas acciones cognitivas son dependientes de variados niveles neurobiológicos. Además, todas las operaciones mentales son dependientes de la atención y la memoria de trabajo.

e) Modelos basados en diferentes etapas del desarrollo.

El desarrollo de las funciones ejecutivas según las edades ha sido un motivo de interés en la comunidad científica. Por ello, podemos encontrar varios modelos según las diferentes etapas madurativas.

A través de estos estudios, se ha podido comprobar cómo el procesamiento y desarrollo de las funciones ejecutivas se da de forma continuada. En la etapa infantil se ha comprobado que existen varios momentos de maduración de las funciones ejecutivas (González Osornio, 2015). Posteriormente, en adolescentes, se han observado patrones diferentes en el funcionamiento de las funciones ejecutivas entre los 7 y 17 años y es en el tránsito entre adolescentes y adultos (15-19 años), cuando se ha mostrado una mayor eficacia en estas funciones ejecutivas. Esto vuelve a ocurrir entre los 20-29 años de edad (González Osornio, 2015).

A pesar de esta eficacia ejecutiva en jóvenes adultos, actualmente se comienza a detectar una mayor prevalencia de disfunciones ejecutivas en estas edades. Esto puede deberse a diversos factores con alta prevalencia en estas edades como son la obesidad (Baskaran et al., 2021), el incremento del consumo de alcohol y drogas (Martínez-Mendoza, 2019) y un mayor tiempo de conductas sedentarias (Loprinzi & Nooe, 2016) entre otras.

Más allá de los diferentes modelos existentes, la literatura científica ha estipulado los siguientes componentes, los cuales conforman las funciones ejecutivas: la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva (Diamond, 2013a). Así, a continuación, se presentan las funciones ejecutivas indicadas anteriormente.

### ***1.2.1. Memoria de trabajo***

La memoria de trabajo se encarga de mantener disponible cierta información y trabajar con ella (Baddeley & Hitch, 1994). Se pueden diferenciar dos tipos de memoria de trabajo, la verbal y no verbal (visual-espacial) (Diamond, 2013a).

No debe confundirse memoria de trabajo con la memoria a corto plazo, ya que ésta sólo mantiene la información sin manipularla. Además, ambas operan a través de diferentes subsistemas neuronales. Por un lado, la memoria de trabajo depende más del córtex prefrontal

dorsolateral, mientras que la memoria a corto plazo no necesita desarrollar esta zona (Eldreth et al., 2006).

Se debe destacar cómo la memoria de trabajo mantiene una relación con el control inhibitorio, ya que se apoyan una a otra y en pocas ocasiones se va a requerir una sin la ayuda de la otra. De esta forma, algunos estudios han demostrado que las mejoras en el desarrollo de la memoria de trabajo pueden conllevar mejoras en la atención selectiva (Stedron et al. 2005). De igual forma, el control inhibitorio puede ayudar a tener una mejor memoria de trabajo.

El desarrollo de la memoria de trabajo se da desde los primeros años, ya que a edades tempranas se pueden mantener en la mente del niño varias cosas durante un tiempo prolongado. Sin embargo, mantener la información y realizar manipulaciones forma parte de un proceso más lento y prolongado para desarrollar.

Al igual que pasa en el control inhibitorio, la memoria de trabajo se reduce durante la adultez. Las mejoras en ésta durante el desarrollo quedan muy relacionadas con la disminución en la velocidad de procesamiento cognitivo, por tanto se reduce drásticamente en el envejecimiento (Zimprich & Kurtz, 2013).

### ***1.2.2. Control inhibitorio.***

El control inhibitorio o también llamado inhibición comportamental, atención selectiva o inhibición cognitiva, se encarga de controlar la atención, la conducta, los pensamientos y/o las emociones con el fin de gestionar la fuerte predisposición interna o el reclamo externo, paso así hacer la acción más apropiada o necesaria en cualquier ocasión (Diamond, 2013a).

Se pueden diferenciar dos tipos de control inhibitorio: el control de interferencias y la inhibición de respuestas. El control de interferencias se encarga de inhibir o focalizar nuestro

espacio interior, mientras que la inhibición de respuestas conlleva la supresión de comportamientos (Santa-Cruz & Rosas, 2017).

Aunque algunos estudios indican que los diversos tipos de control inhibitorio de la atención y la acción mantienen bases neuronales similares, otros muestran cómo pueden ser disociables de igual forma. Esto es interesante, ya que sería importante conocer con exactitud qué patrón utiliza cada tipo de inhibición para poder modificar conductas.

Por ejemplo, en niños, el control inhibitorio es difícilmente controlable debido a la falta de madurez en edades tempranas. Ésta va adquiriendo mayor desarrollo durante la adolescencia (Luna, 2009). Por ello, una correcta maduración en esta etapa parece ser predictiva para un mejor control en la adultez.

Sin embargo, es en el envejecimiento cuando el control inhibitorio sufre un importante deterioro. En estas edades se muestra una mayor mejoría bajo los estímulos mantenidos, pero menos o incluso ninguna ante la supresión de los estímulos que se ignoran. Además, se observa una pobre inhibición de las distracciones y auditivas (Alain & Woods, 1999; Darowski et al., 2008).

### ***1.2.3. Flexibilidad cognitiva.***

La flexibilidad cognitiva se basa en las otras dos habilidades y se desarrolla en edades posteriores (Garon et al., 2008). Ésta tiene la capacidad de cambiar la perspectiva espacial o interpersonal. Por ello, la flexibilidad cognitiva requiere y se basa en el control inhibitorio y en la memoria de trabajo. Además, la flexibilidad cognitiva desarrolla cambios en la forma que pensamos sobre algo y también permite adaptarse a los cambios de las demandas o prioridades.

Por ello, la flexibilidad cognitiva es lo opuesto a la rigidez, ya que va ligada al cambio de tareas y a la creatividad (Diamond, 2013a).

### **1.3. Factores que influyen en las funciones ejecutivas.**

#### ***1.3.1. Tratamientos farmacológicos.***

Los tratamientos farmacológicos han obtenido un gran papel dentro de la prescripción debido a la gran prevalencia de enfermedades o trastornos neurológicos (Abad-Santos et al., 2002).

Uno de los principales fármacos que podemos encontrar con efectos sobre las actividades cognitivas es la familia de los nootrópicos. Estos son capaces de mejorar la actividad cognitiva y la memoria en situaciones deficitarias metabólicas neuronales. Además, éstos presentan muy escasos efectos secundarios, aún en dosis altas (Abad-Santos et al., 2002).

Otros de los fármacos que pueden ser utilizados son los antioxidantes. Los usos de éstos interrumpen la muerte neuronal en las áreas del lóbulo temporal medio (hipocampo, en particular) debido al estrés oxidativo. Por ello, se podría paliar en cierta medida la lesión y muerte neuronal vía radicales libres (Ataie et al., 2016).

Un ejemplo de antioxidante es la vitamina E (alfa-tocoferol), un captador de radicales libres que consigue retrasar la evolución de la enfermedad de Alzheimer, aunque este tratamiento no mejora la cognición tras dos años de tratamiento (Abad-Santos et al., 2002). Sin embargo, según Schmidt (1998) los niveles más bajos de alfa-tocoferol se asocian con un mayor deterioro cognitivo, existiendo por tanto una relación directa entre niveles plasmáticos de alfa-tocoferol y cognición.

Otro captador de radicales libres son los estrógenos. Éstos además producen efectos neurotróficos y neuroprotectores. Por ello, ya en varios estudios se ha visto el efecto beneficioso de los estrógenos sobre la memoria en mujeres sin patologías (Sherwin, 2000).

Por otra parte, cobra importancia en clínica la neurotransmisión colinérgica, ya que de forma empírica se afirma que el desarrollo de la neurotransmisión colinérgica influye en la mejora de la memoria. De esta forma, los inhibidores de la acetilcolinesterasa donepezilo, rivastigmina y galantamina, han demostrado una mejora de la memoria (Abad-Santos et al., 2002).

Por último, se debe destacar la citicolina (CDP-colina). Éste es un compuesto endógeno que se sintetiza en la transformación de la colina en fosfatidicolina y actúa en la membrana neuronal (Blusztajn & Wurtman, 1983). Este fármaco se lleva utilizando hace varias décadas como tratamiento en los procesos cerebrales que cursan con un deterioro neuronal.

En relación a las principales disfunciones ejecutivas que puedan darse en la población en general, se observan diferentes alteraciones en las vías fronto-subcorticales debido a desequilibrios químicos, entre ellos el neurotransmisor de la dopamina (Rebecca Elliott, 2003). Además, la disfunción ejecutiva puede indicar algún mal funcionamiento de los circuitos que conectan las áreas subcorticales con los lóbulos frontales (Rosenblatt & Hopkins, 2012).

Los receptores relacionados con la dopamina están bien estudiados y se conoce cómo interactúan aportando beneficios cognitivos, tanto en personas sanas como con poblaciones con alteraciones ejecutivas (Elliott et al., 1997). Por ejemplo, la estimulación del receptor dopaminérgico D2, generalmente mejora el rendimiento en diferentes ámbitos como, por ejemplo, en la memoria de trabajo de personas que manifiestan dificultad en dicha función ejecutiva o alta impulsividad. Además, este efecto de la estimulación de los receptores D2, no solo se aplica en las tareas de demandas de memoria de trabajo, sino también en aquellas que requieren de los procesos básicos de aprendizaje por refuerzo (Frank & Fossella, 2011).

A pesar de los posibles beneficios mostrados a través de diversos tratamientos farmacológicos, es importante combinar la medicación con otras estrategias no farmacológicas y



de igual forma con validez y rigor científico que aseguren en parte un beneficio hacia la capacidad cognitiva y especialmente en las funciones ejecutivas.

### ***1.3.2. Terapias psicoeducativas.***

La estimulación cognitiva es un conjunto de estrategias y técnicas cuyo objetivo es mejorar el rendimiento de las funciones cognitivas a través de la potenciación de la neuroplasticidad cerebral. Esta acción es necesaria para mantener un buen estado cognitivo o compensar posibles pérdidas para la población en general (Calatayud et al., 2019).

A través de estudios previos, se observó como el entrenamiento cognitivo mejoró significativamente el rendimiento de la función cognitiva, como el reconocimiento. Además, dominios de las funciones ejecutivas, tales como la memoria de trabajo y procesamiento de la información, mejoraron en su rendimiento (Kelly, 2014).

Aun así, a pesar de la aceptación científica, la mayoría de los programas orientados a la prevención del deterioro cognitivo no están centrados de forma exclusiva en una capacidad cognitiva. Por ello, se llevan a cabo diferentes tareas de forma indiscriminada que comprometen la atención, la memoria, el lenguaje o cualquier otro proceso cognitivo. De este modo, se desarrollan actividades de forma repetida, por lo que este método no llega a ser suficiente para los beneficios de la vida cotidiana (Ruiz-Sánchez de León, 2012).

Otras de las herramientas que han mostrado efectividad en la salud mental de la población es la estimulación mental. Ésta se refiere a métodos que promueven una salud cerebral hacia el aprendizaje (Urrútia & Bonfill, 2010).

A través del metaanálisis de Kelly (2014), se puede observar cómo la estimulación mental mejora de forma significativa la memoria en comparación a no hacer ninguna otra intervención, pero este efecto no se observa cuando se compara con un grupo activo.

Además, se destaca que, aunque el entrenamiento cognitivo puede mejorar el rendimiento de la memoria, éstas mejoras generalmente no son específicas de la intervención. Por lo tanto, desarrollar actividades de estimulación mental, o bien ser activos, podrían mejorar el rendimiento de la memoria de igual forma que el entrenamiento cognitivo. Se debe tener en cuenta que la estimulación mental podría ser fácil de incorporar diariamente, por lo que puede ser una alternativa más válida que el entrenamiento cognitivo (Kelly, 2014).

En contraste, la estimulación mental puede beneficiar la función cognitiva en población adulta, pero son necesarias más investigaciones para poder confirmarlo. Esto se debe a que las evidencias sugieren que la estimulación mental podría mantener la función cognitiva en el tiempo, en vez de proporcionar mejoras inmediatas (Iborra, 2012).

### **1.3.3. Bilingüismo.**

Durante el día a día, estamos expuestos a continuos estímulos sensoriales y a procesos de aprendizaje. Esto conlleva una concentración en cada momento, por lo que el córtex prefrontal juega un papel fundamental.

Usar varios idiomas más, genera una continua estimulación del control inhibitorio, ya que se debe hacer un gran esfuerzo para inhibir un idioma y hacer un buen uso del segundo idioma (Diamond, 2010). Esto lo confirman diversos estudios, en los cuales se ha observado cómo las regiones del lóbulo frontal se activan en mayor medida en una persona que usa otro idioma en comparación con una persona monolingüe (Esnaola, 2019). Además, se ha visto cómo las partes

más involucradas en esta alternancia de idiomas es el núcleo caudado la corteza prefrontal, la corteza cingulada anterior y el giro supramarginal (Ustároz et al., 2012). Por tanto, se observa cómo las funciones ejecutivas están involucradas en gran medida en esta situación.

Aunque el córtex frontal es una de las áreas más tardías en desarrollarse y mielinizarse, las funciones ejecutivas son las primeras en verse deterioradas en la edad adulta. De hecho, se ha observado que los adultos que usan de forma frecuente un segundo idioma, se han comprobado cómo muestran una mejor reserva cognitiva y por ende, estar más protegidos ante el deterioro cognitivo e incluso ante la demencia (Bialystok et al., 2007).

#### ***1.3.4. Variables sociodemográficos y socioculturales.***

El ámbito sociodemográfico (nivel de estudios, ocupación e ingreso familiar) y sociocultural son factores que influyen en el funcionamiento cognitivo, control emocional, de la conducta e interacción social en la población en general, siendo más notoria en niños y adolescentes (Campanholo et al., 2017).

Estudios previos observaron cómo una mejor situación tanto en el estado social (ocupación e ingresos) como en el estado educativo, se relacionan con una mejor capacidad cognitiva y con unas funciones ejecutivas más desarrolladas. Por ello, disponer de un nivel de estudios más elevado y mayor complejidad ocupacional se muestran como factores neuroprotectores. Además, también se estudió cómo el nivel de ingreso familiar influye en los resultados de tareas ejecutivas (Campanholo et al., 2017).

Por tanto, las desigualdades sociales afectan tanto al desarrollo físico como cognitivo. Estudios realizados con niños de un nivel socioeconómico bajo han mostrado resultados que observan cómo las estructuras que presentan mayor disparidad en el desarrollo neurocognitivo son

el lenguaje, la memoria y las funciones ejecutivas. De hecho, se destaca la afectación al zona lateral prefrontal y componentes del cíngulo anterior y el control inhibitorio (Musso, 2009).

Además, en esta población se ha estudiado el efecto de variables como la desnutrición y el cuidado parental, incidiendo de forma significativa en la cognición y funciones ejecutivas de estos menores (Musso, 2009).

Por otro lado, diversos riesgos vinculados a esta población, como un retardo en el crecimiento y desarrollo intrauterino inadecuado, bajo peso al nacer, bajo peso según la edad correspondiente, disfunciones respiratorias, síndrome alcohólico fetal o VIH (Adler & Newman, 2002) también conllevan un efecto negativo hacia las funciones ejecutivas.

De esta forma, las funciones ejecutivas quedan vinculadas al entorno sociodemográfico y sociocultural en el cual la persona se desarrolla. Así, los principales mecanismos que conllevan una alteración debido a este nivel socioeconómico son explicados por la complejidad del entorno y al estrés que suele darse en este contexto (McEwen, 2000).

### **1.3.5. Estrés.**

El estrés podría venir determinado por factores extrínsecos o intrínsecos y, a su vez, ser capaz de generar malestar tanto a nivel físico como psicológico en la persona (Cohen & Williamson, 1991). Por este motivo, se ha convertido en un factor que propicia alteraciones en el funcionamiento de diferentes sistemas y órganos, entre ellos el cerebro (Arnsten, 2009; Teicher et al., 2003). Ante esta situación, se produce una activación del eje hipotálamico-pituitario-adrenal y a continuación una liberación de glucocorticoides, generando un impacto en las estructuras implicadas debido al estrés (Bruce, 2010).

El estrés parece tener un efecto desde el momento de la gestación, ya que se ha estudiado cómo los niños de madres que han tenido situaciones estresantes de forma mantenida o recibieron glucocorticoides exógenos, han desarrollado alteraciones en el desarrollo neurológico a largo plazo (Kapoor et al., 2008). Además, estas situaciones se han relacionado con un menor peso o tamaño al nacer. Así, estas alteraciones provocan dificultades en las funciones ejecutivas (dificultad en la autorregulación conductual y emocional) y la memoria, así como en el ámbito social, el sistema de recompensa y la regulación emocional (Lupien et al., 2009).

En edades posteriores, se ha visto cómo adolescentes expuestos de forma continua al estrés pueden generar alteraciones en el volumen de la sustancia gris del cerebro y una reducción del área en la corteza del cíngulo anterior (Cohen et al., 2006). Esta continuidad de eventos estresantes de forma reiterativa en periodos sensibles, provoca que el cerebro se desarrolle hacia una especialización a fin de ofrecer respuestas en un entorno estresante (Teicher et al., 2003).

Al margen de lo mencionado con anterioridad, se debe destacar cómo según algunos estudios han encontrado un efecto positivo del estrés en la memoria de trabajo (Duncko et al., 2009; Giles et al., 2014). Por el contrario, el efecto del estrés en el control inhibitorio no se ha podido definir con tanta claridad. De esta forma, algunos estudios han encontrado un deterioro del control inhibitorio (Leblanc, 2009), mientras otros trabajos han observado un desarrollo del mismo tras la generación del estrés (Schwabe et al., 2012; Shields et al., 2015). Aun así, parece claro cómo la reactividad del cortisol ante el factor estresante puede ser un importante moderador de los efectos del estrés sobre el control inhibitorio (Shields et al., 2015).

Por lo tanto, debemos cuestionarnos bajo qué condiciones el estrés reduce o potencia las posibilidades de las funciones ejecutivas. Para responder a esta cuestión, debemos recurrir a éste metaanálisis (Shields et al., 2015) donde se concluye que el cortisol actúa brevemente en el

deterioro de las funciones ejecutivas, especialmente en la memoria de trabajo. Pero este efecto ocurre entre el momento de administración del estímulo y la evaluación de dichas funciones ejecutivas (menos de una hora tras la administración).

De esta forma, se ha observado cómo una vez acabado un esfuerzo físico intenso, el rendimiento del control inhibitorio incrementa cuando se evalúa tras un breve descanso, sin embargo, su rendimiento se reduce si se deja un tiempo muy prolongado tras la ejecución del esfuerzo y la generación de cortisol (Shields et al., 2015).

Sin embargo, en la memoria de trabajo parece ocurrir todo lo contrario, es decir, obtiene un mejor rendimiento cuando se evalúa pasado un tiempo prolongado tras la aplicación del ejercicio intenso. Esto puede deberse al efecto del cortisol en la actividad neuronal y sus mecanismos genómicos y no genómicos (Henckens et al., 2011).

Por otra parte, son pocos los estudios (ej., Laredo et al., 2015; Plessow et al., 2011) que se han planteado analizar el efecto del estrés en la flexibilidad cognitiva. Los resultados de estos son relativamente consistentes, si bien muestran un deterioro en esta función después del estrés.

El efecto del estrés en las funciones ejecutivas puede tener diferente acción según el género. Schoofs et al., (2008) observaron cómo en mujeres el estrés puede deteriorar la memoria de trabajo, mientras que en hombres resulta un incremento de su rendimiento (Schoofs et al., 2009). En relación con la flexibilidad cognitiva, se ha encontrado un mayor deterioro inducido por el estrés en hombres que en mujeres.

### ***1.3.6. Depresión, ansiedad y estado de ánimo.***

La depresión, junto con otros desórdenes psicológicos relacionados con un efecto negativo en la salud mental, como el estrés o la ansiedad, se ha convertido en la patología neuropsiquiátrica de mayor prevalencia en todo el mundo (Pamela Y. et al., 2011).

A nivel molecular, la depresión se caracteriza por un fallo de neuroplasticidad, incluyendo una atrofia neuronal y una depleción sináptica en el córtex prefrontal medial y en el hipocampo (Duman & Aghajanian, 2012). A nivel neurocognitivo, se ha observado cómo se da una alteración en las funciones neurocognitivas, entre ellas en las funciones ejecutivas (Koenig et al., 2014). Las funciones más afectadas son la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio, lo cual conduce a la generación de sesgos negativos en la cognición, como la elaboración de creencias negativas (Aaron T. Beck & Bredemeier, 2016). Aun así, pocos estudios han comprobado si esta asociación entre depresión y funciones ejecutivas difieren de forma diferente ante funciones más específicas del control cognitivo.

La edad parece ser un indicador notorio en esta relación respecto a la vulnerabilidad en las funciones ejecutivas, afectando en mayor medida en la población adulta (Boone et al., 1995). Esta vulnerabilidad puede explicarse en parte por los cambios relacionados en algunos mecanismos neurobiológicos relacionados con la depresión, tales como cambios en la estructura funcional y estructural de las redes cerebrales fronto-límbicas, un descenso del factores neurotróficos derivados del cerebro, mayor incremento de lesión en la materia blanca y un incremento inflamatorio (Naismith et al., 2012).

Como consecuencia de estas alteraciones, la evidencia actual mantiene que esta depresión no solo afecta a la capacidad cognitiva y funciones ejecutivas, sino que además altera la capacidad funcional y se relaciona con un peor rendimiento en la salud (Meeks et al., 2011). Por tanto, los

síntomas depresivos varían a lo largo de la vida, pudiendo provocar cambios significativos en la función neurocognitiva, apetito, peso corporal y en el estado de ánimo (Dotson et al., 2020).

Los trastornos vinculados al estado anímico también han sido asociados con un deterioro funcional significativo. En poblaciones con alteraciones o déficit cognitivos, se ha observado como tanto la aparición, gravedad y persistencia del trastorno en este estado de ánimo se atribuye a los déficits cognitivos propios de esta población (Cotrena et al., 2016). Por el contrario, una mejora de las capacidades cognitivas ha sido predictivo de un mejor estado de ánimo (Bowie et al., 2013),

Estudios previos a través del comportamiento de ondas cerebrales (Luu et al., 2000) y de la evaluación del estado de ánimo y personalidad, mostraron que tanto la motivación como los factores emocionales pueden influir en el procesamiento ejecutivo. En la investigación de Godard et al. (2011), se encontró que las funciones ejecutivas están asociadas con diferentes aspectos del funcionamiento psicosocial en personas con trastornos ejecutivos, como pacientes depresivos o trastornos de bipolaridad. Por ello, en esta población se observa una alteración en la relación con los miembros de la familia, una baja satisfacción de la vida e incluso una reducción en las acciones que desarrollan.

Así, la alteración cognitiva en diferentes estados como son la depresión, ansiedad y peor percepción del estado de ánimo se interrelacionan y además actúan creando interferencias negativas en otras acciones del día a día como puede ser el apetito, satisfacción personal o sueño, entre otras (Cano-Lozano et al., 2003; Miró et al., 2005).



### **1.3.7. Sueño.**

El sueño es un momento clave para la recuperación neurológica y fisiológica. Aunque se pueda pensar que en este momento la actividad neuronal se detiene, realmente es un periodo de alta actividad (K. F. Davis et al., 2004).

En personas con una limitación o restricción del sueño, se ha podido comprobar a través de estudios con electroencefalograma, como el efecto durante el estado de vigilia es más notorio en el área frontal más que en zonas posteriores (Cajochen et al., 2001). Esto hace que las funciones ejecutivas sean deterioradas poco a poco debido a un mal descanso. Por ejemplo, niños con una alteración del sueño manifiestan cambios en el estado anímico, falta de regulación emocional, problemas de conducta y dificultad para llevar a cabo tareas cognitivas (Bernier et al., 2010).

En adultos, se ha estudiado cómo se dan de forma frecuente trastornos de insomnio, definido esto por la Asociación Americana de Psiquiatría (2013) como la dificultad para conciliar el sueño, mantener el sueño o despertares temprano en la mañana. Los motivos principales para darse estas alteraciones pueden ser debidas a la fatiga, disminución de la motivación y la energía y un estado anímico inestable (Ballesio et al., 2019). Por lo tanto, y así queda reflejado en el metaanálisis de Alfini et al., (2020), parece existir una relación entre una mala calidad del sueño y un notable deterioro de la memoria y en las funciones ejecutivas.

De esta forma, adultos con insomnio comúnmente declaran dificultad subjetiva en capacidades cognitivas de las que se encargan las funciones ejecutivas, como la atención, memoria y concentración (Cellini, 2017). Esto ha sido contrastado en estudios previos y se ha comprobado cómo personas con insomnio tienen un peor rendimiento en test de atención y memoria de trabajo en comparación con personas que declaran descansar bien (Shekleton et al., 2010).

Recientes evidencias sugieren que las funciones ejecutivas juegan un rol importante en conductas importantes en el sueño como estrategias autorreguladoras, incluyendo la rumia mental. En relación a esta última, un reciente metaanálisis de estudios correlacionados, muestra como un peor control inhibitorio y flexibilidad cognitiva fueron asociados con una mayor rumiación en la población en general (Y. Yang et al., 2017).

Según el metaanálisis de Fortier-Brochu et al., (2012), las personas con insomnio muestran un peor rendimiento en tareas de manipulación y retención de información, por lo que la memoria de trabajo es la función ejecutiva que muestra un peor rendimiento. Sin embargo, tanto el control inhibitorio como la flexibilidad cognitiva no se vieron afectadas.

### ***1.3.8. Autoestima, autoconcepto e imagen corporal.***

La bibliografía señala cómo todas las variables vistas anteriormente (estrés, ansiedad, depresión, estado anímico, déficit de sueño) pueden provocar un empeoramiento de la salud mental.

La autoestima se entiende como la confianza que tiene el sujeto en sí mismo, pudiendo tener ésta una orientación positiva o negativa (M. Rosenberg, 1965). Por ejemplo, un alto nivel de estrés repercute en los sentimientos de aceptación y respeto de sí mismo (S. Taylor, 2007). Además, estos estresores producen una interacción directa sobre el autoconcepto y la identidad de la persona, produciendo una peor percepción de la autoestima (Thoits, 1986). La autoestima no es una característica innata del ser humano, sino que se adquiere y se genera según los acontecimientos en cada persona (Naranjo, 2007). Por ello, existen factores que pueden influenciar a la autoestima, como son la educación recibida de la familia e instituciones, relaciones interpersonales establecidas y el lugar de trabajo (Ancer et al., 2011).

Además, según la prevalencia en la población general, el género ha sido reportado como un factor a tener presente en la autoestima, ya que las mujeres muestran una baja autoestima en comparación con los hombres, llegando incluso a generar depresión en casos extremos (González Ramírez & Landero Hernández, 2008).

En relación a la autoestima se debe diferenciar el autoconcepto. Este término se trata de la percepción consciente y la autoevaluación que se realiza cada persona (Rice, 2000).

La pubertad, se trata clave para este afianzamiento, ya que los jóvenes realizan continuamente evaluaciones de sí mismos, y comparaciones de las habilidades sociales, intelectuales, motoras y físicas. Como resultado de estas comparaciones entre sus iguales, pueden adoptar sentimientos de vergüenza y ridículo. Por ello, en estas edades se intenta igualar entre el yo percibido con su yo ideal.

Un buen estado saludable juega un rol importante dentro de la autoestima, autoconcepto y en la imagen corporal. Esto así lo demuestran los modelos de Borden, citado por Naranjo (2007), los cuales muestran cómo las personas saludables están en un continuo proceso de búsqueda de la comprensión de la percepción, sentimientos y motivaciones de su conducta personal.

Centrándonos en el periodo universitario, se trata de una etapa donde se deben afrontar altas exigencias, y nuevas situaciones de sus vidas, como la independencia, nuevos roles sociales, etc. Esto repercute en la percepción y en la valoración que los estudiantes hacen sobre ellos mismos (Novoa & Barra, 2015). Esto puede desencadenar en diferentes focos de estrés durante la etapa universitaria y, por ende, que la satisfacción vital se vea alterada (Borges, 2016).

Estudios previos han encontrado en alumnos universitarios insatisfechos mayor vulnerabilidad a presentar conductas agresivas, conductas sexuales de riesgo, consumo de sustancias y problemas físicos. Todas estas alteraciones, pueden ser explicadas en parte por la

incidencia en las funciones ejecutivas, por lo que puede conllevar a un peor autocontrol y autorregulación de las conductas (Huebner & Diener, 2008).

Por tanto, es importante conocer cómo la calidad de vida y la satisfacción vital en relación consigo mismo de estas personas, puede incidir en la salud mental y en las funciones ejecutivas.

### **1.3.9. Calidad de vida.**

La alteración en las funciones ejecutivas puede incidir en nuestras acciones y toma de decisiones. Por tanto, un cambio en el desarrollo de las funciones ejecutivas o incluso un descenso del rendimiento de las mismas, puede impactar negativamente en la calidad de la vida en las personas (Lepe-Martínez et al., 2020).

La calidad de vida relacionada con la salud es un importante constructo que puede describir el estado de salud general de la persona (Ardila & Surloff, 2006). Este concepto suele ser definido en varios dominios centrales como son el bienestar emocional, el componente físico, social y cognitivo. La relación entre la calidad de vida relacionada con la salud y el dominio cognitivo y más concretamente las funciones ejecutivas ha sido poco investigada hasta la actualidad. Aun así, el proceso cognitivo es fundamental para realizar buenas conductas que promuevan la salud (Narbona & Chevie-Muller, 2000), como puede ser llevar una buena alimentación, autocontrol en las respuestas y cambios en el estilo de vida.

Esta relación entre la calidad de vida y las funciones ejecutivas ha sido más estudiada en población mayor, ya que, como se comentó anteriormente hay un declive de dichas funciones debido al envejecimiento. Además, en una población que se encuentra en su último grado de demencia, como es el Alzheimer, también se puede observar una relación lineal entre la calidad de vida relacionada a la salud y el Minimental test (Włodarczyk et al., 2004). Por tanto, todo parece

indicar que existe una clara relación entre un mayor deterioro cognitivo con una reducida percepción de la calidad de vida (Espy, 1997). Posteriormente, en el estudio de Davis et al., (2010), se estudió esta relación con las funciones ejecutivas en mujeres mayores saludables. Los investigadores destacan que tanto el control inhibitorio como la memoria de trabajo, fueron independientemente asociados con la calidad de vida relacionada con la salud. De esta forma, la memoria de trabajo quedó relacionada con la severidad del dolor y el control inhibitorio con la movilidad, rendimiento en la conducción, ansiedad y depresión.

A pesar de la falta de estudios sobre esta relación en poblaciones más jóvenes, conocer la calidad de vida en todas las edades y su posible efecto en variables relacionadas con la salud es relevante para el bienestar. De hecho, en población joven, especialmente en universitarios, la calidad de vida es relevante debido a la cantidad de horas dedicadas para su estudio, creación de nuevos entornos sociales y elaboración y cambios en los estilos de vida, los cuales inciden directamente con su actual salud, como en etapas posteriores (Aguirre-Loaiza et al., 2019). En el estudio de Camargo Lemos et al., (2014), donde se estudia la relación de diversas áreas con la calidad de vida, los estudiantes universitarios mostraron una menor relevancia en áreas tales como la calidad de vida en general (25.51%), los compañeros de estudio (25%) y el tiempo libre (21.93%). Sin embargo, declaran asignar una mayor importancia a áreas familiares (39,77%) amigos (17,61%), salud psíquica (13.63%) y física (9,65%). Estas áreas fueron mostradas como más importante por un 80% de la población estudiada.

Además, a través del estudio de Maritza et al., (2014), se pudo comprobar cómo una baja percepción de calidad de vida relacionada con la salud en estudiantes universitarios se relaciona con problemas emocionales, tales como la depresión, ansiedad, entre otros. Esto puede provocar una mayor predisposición hacia el estrés y a la generación de conductas no saludables.

En este otro estudio (Michalos et al., 2000) se observó cómo los estudiantes que manifestaban opiniones pesimistas presentaron de forma significativa más enfermedades, y reportaban un uso inadecuado del tiempo libre, así como hábitos más tóxicos en comparación con los alumnos optimistas. Estudios similares, encontraron diferencias más importantes entre estas variables.

A pesar de la importancia mostrada anteriormente por parte de la población universitaria ante el componente físico, uno de los factores que afecta en mayor medida en la calidad de vida es el dolor músculo esquelético (Strine et al., 2005), encontrándose en estudios previos una prevalencia del 34,2% (M. Camargo Lemos et al., 2009). Esto genera disminución en la percepción general de la calidad de vida, la salud física y el disfrute durante el tiempo libre. Además de estos factores relacionados con la calidad de vida relacionada con la salud, se debe conocer como otras variables relacionadas con el estilo de vida, como los hábitos nutricionales y la AF inciden en las funciones ejecutivas.

### ***1.3.10. Práctica de Actividad Física y Ejercicio Físico.***

La inactividad física es uno de los principales factores responsables de enfermedades crónicas en la edad adulta (Tremblay et al., 2017). Además, el tiempo que se pasa en actitud sedentaria se ha detectado como un indicador negativo en la salud en una dicha población. Esto se debe a la directa relación existente entre una posición sedentaria mantenida con la prevalencia de enfermedades cardiovasculares, peor condición física, osteoporosis, diabetes, cáncer, y una reducción de la funcionalidad cognitiva (Camilo et al., 2021). Debido a este déficit, el sedentarismo puede generar trastornos mentales, tales como ansiedad, baja autoestima y depresión, siendo más pronunciado en mujeres que en hombres (Nihill et al., 2013).

A través del estudio longitudinal de Loprinzi & Nooe (2016) se pudo comprobar cómo menos tiempo en una actitud sedentaria mantenida se relaciona con un mayor rendimiento en las funciones ejecutivas. Por todo ello, la reducción del comportamiento sedentario puede tener un mayor efecto en el rendimiento de las funciones ejecutivas.

Además del efecto de la AF, se ha estudiado cómo el ejercicio físico actúa eficazmente para la mejora del rendimiento en la cognición y en las funciones ejecutivas (Cohen et al., 2019). Así, como consecuencia de la práctica de ejercicio físico continuado, se ha observado cómo a mayor nivel de condición física se encuentra una mejor capacidad en las funciones ejecutivas (Kawagoe et al., 2017). Además, existe una relación significativa entre los cambios producidos en la condición física durante un periodo de entrenamiento y los cambios cognitivos (Catherine et al., 2011). Por ello, el ejercicio físico ha mostrado ser una estrategia útil para la mejora del rendimiento en dichas funciones ejecutivas tanto en niños (Kirk et al., 2011; Stanley et al., 2016), adolescentes (W. de Greeff et al., 2018), adultos (B. F. Haverkamp, Wiersma, Vertessen, Van, et al., 2020) y ancianos (Heath et al., 2016).

Debido a las consideraciones anteriores, los centros educativos están promocionando el ejercicio físico para mejorar el aprendizaje del alumnado (Donnelly et al., 2016). Además, en la etapa universitaria, donde se requiere de mayor autonomía y responsabilidad en el estudio, se ha observado cómo aquellos alumnos que reportan una frecuencia mayor de práctica de ejercicio físico disponen de mejores funciones ejecutivas (Aguirre-Loaiza et al., 2019). A pesar de estos beneficios dados a través del ejercicio físico en las funciones ejecutivas en población universitaria, se debe considerar la incidencia de diferentes variables en estos resultados, como el nivel de condición física, la intensidad del ejercicio o las diferencias entre género, además de la fase del ciclo menstrual (Herrera-Agudelo et al., 2020).

Aun existiendo gran cantidad de investigaciones que pretenden conocer los mecanismos que provocan este efecto, actualmente no están totalmente definidos (S. S. Hsieh et al., 2020). Una de las hipótesis existentes sugiere que el ejercicio físico provoca estimulación de las catecolaminas, tales como la dopamina y la epinefrina. La primera actúa principalmente en la memoria a corto plazo y la segunda en la memoria a largo plazo (Winter et al., 2007).

Por otro lado, se ha estudiado la capacidad aeróbica, medida por el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2\text{máx}}$ ), como el principal mediador fisiológico, el cual puede modular las funciones cognitivas (Etnier et al., 2006). El desarrollo de esta capacidad aeróbica puede tener un impacto positivo sobre las funciones ejecutivas, ya que genera principalmente cambios en la corteza temporal y prefrontal (Guzmán-Cortés, Villalva-Sánchez, Bernal, 2015). Los mecanismos neurobiológicos que explican esta mejora cognitiva son varios. Entre ellos, se conoce que el ejercicio físico, a través de la producción de factores tróficos que intervienen en la supervivencia y crecimiento neuronal, como el IGF-1, provoca un incremento en la plasticidad en las redes sinápticas, además, éstos son necesarios para la supervivencia de los axones y dendritas en desarrollo, ya que pueden atrofiarse y morir.

La estimulación de factores tróficos a través de diversos tipos de ejercicio físico ha mostrado diversos resultados en su estimulación (García-Suarez et al., 2021). Si se diferencia según la intensidad del ejercicio, la actividad moderada ha demostrado incrementar los factores neurotróficos, además de un aumento de sustancia gris en la corteza prefrontal y la corteza cingulada (Hillman et al., 2008). Igualmente, esta intensidad parece mostrar una mayor capacidad antioxidativa en el cerebro, mientras que la estimulación de la capacidad anaeróbica o alta intensidad, parecen reducir las respuestas antioxidantes (Norman et al., 2018). Al igual que ocurre



con la intensidad moderada, el entrenamiento de alta intensidad genera una mayor estimulación de diversos factores neurotróficos, como el IGF-1 (S. S. Hsieh et al., 2020).

Centrándonos en el efecto del ejercicio en las funciones ejecutivas, el ejercicio físico aeróbico, posiblemente el más estudiado anteriormente, genera modestas mejoras en las funciones ejecutivas (Smith et al., 2010). Aun así, en los últimos años se ha estudiado el efecto de ejercicios de alta intensidad en las funciones ejecutivas (Ai et al., 2021; S. S. Hsieh et al., 2020). A través del metaanálisis de Moreau & Chou (2019), se concluyó que estos ejercicios de alta intensidad pueden ser una buena alternativa para incrementar las mejoras cognitivas y concretamente en las funciones ejecutivas. Además, se observa cómo estas mejoras dadas en las funciones ejecutivas responden de forma diferente a menor intensidad, ya que el efecto de la alta intensidad actúa de forma moderada y más prolongada en el tiempo (Moreau & Chou, 2019).

En línea a estas conclusiones, y en línea a la población estudiada, investigaciones previas han observado cómo el ejercicio a intensidad vigorosa provoca una mejora significativa en las funciones ejecutivas en comparación con un ejercicio a baja intensidad (Herrera-Agudelo et al., 2020).

Además, el efecto del ejercicio físico a alta intensidad de forma aguda parece mostrar resultados diversos y en ocasiones diferentes al efecto crónico (S. S. Hsieh et al., 2020). Por estos motivos, se debe profundizar más en el estudio de programas de entrenamientos de alta intensidad en jóvenes adultos jóvenes, para ver su efecto en las funciones ejecutivas.

#### **1.4. Ejercicio físico, neuroplasticidad y funciones ejecutivas.**

##### ***1.4.1. Efectos del ejercicio físico sobre los factores de crecimiento neuronal.***

###### **1.4.1.1.Efecto del entrenamiento continuado de intensidad moderada en los factores de crecimiento neuronal.**

El entrenamiento aeróbico o de intensidad baja-moderada, ha mostrado incidir levemente o incluso no producir efectos en la estimulación de factores neurotróficos en poblaciones tanto activas como sedentarias. Esto se debe a que existe una relación entre la duración del ejercicio y su concentración en suero y plasma en adultos saludables. Sin embargo, la intensidad se ha mostrado como el elemento diferenciador en la estimulación de estos factores, por lo que a mayor intensidad en el ejercicio, se genera una mayor concentración neurotrófica (Dinoff et al., 2016). Aun así, la intensidad óptima del ejercicio para provocar una mayor y más duradera estimulación de los factores de crecimiento neuronal aún es desconocida.

Por este motivo, son muchos los estudios que no muestran cambios significativos en la concentración periférica de IGF-1 y BDNF tras un esfuerzo aeróbico (Nofuji et al., 2012; Schmidt-Kassow et al., 2012; Schmolesky et al., 2013). Otros trabajos como el de Schmidt-Kassow et al. (2012), en el cual se observó el efecto del ejercicio de baja intensidad, no se detectaron ningunas respuestas adaptativas de ciertos factores de crecimiento neuronal pasados 30 minutos del ejercicio, el cual fue realizado por debajo del umbral aeróbico. Mientras que, ante intensidades ligeramente superiores al umbral aeróbico, se obtuvieron mejoras de un 13% y de un 30% ante un esfuerzo máximo.

A pesar de estos resultados, es interesante conocer cómo las concentraciones de estos factores neurotróficos responden de forma selectiva a las demandas metabólicas implicadas. ya que el

metabolismo aeróbico también desempeña un papel importante en esta regulación de las neurotrofinas (Dinoff et al., 2016).

En relación a las demandas metabólicas, cuando se compara HIIT frente al entrenamiento continuado de intensidad moderada (MICT), se muestra cómo la concentración neuronal incrementa de forma gradual en ambos modelos. Esto se debe a que ambos tipos de ejercicios requieren de consumo de oxígeno, provocando una respuesta acumulativa de factores como el IGF-1, hasta el punto que ambos generan una concentración elevada post ejercicio (De Assis et al., 2018). Sin embargo, desde la perspectiva eficacia-tiempo, el MICT requiere altos volúmenes para incidir en el  $VO_{2max}$  y así provocar una mayor estimulación en los factores neurotróficos (Kong et al., 2016).

Una vez conocido el efecto agudo del MICT en ciertos factores de crecimiento neuronal, tenemos que conocer que tras aplicar un programa de ejercicio aeróbico de forma continuada, se ha encontrado una inconsistencia en los resultados encontrados sobre el nivel de BDNF periférico tras su ejecución (Izzati et al., 2021), ya que algunos estudios han encontrado un incremento del BDNF (Hötting et al., 2016; Jeon, 2015) mientras que otros no lo han hecho (Wagner et al., 2017). A través del desarrollo de intervenciones con una duración entre 3-5 meses aplicando MICT, no se encontraron cambios en los factores neurotróficos basales tras los 3 meses, aunque estos niveles se elevaron durante las sesiones (Seifert et al., 2010). Griffin et al., (2011) comprobaron el efecto de diferentes volúmenes de ejercicio en jóvenes adultos mediante una interacción tiempo-exposición entre los niveles diversos factores neurotróficos y el ejercicio realizado. Como resultado, se encontró que tras 5 semanas de ejercicio aeróbico se provocó una respuesta del BDNF mayor post ejercicio frente a 3 semanas.

Por otro lado, en el estudio de Murawska-Cialowicz & Zuwala-Jagiello (2015), donde se realizaron 3 meses de programa de entrenamiento con un bajo volumen (reducido número de sesiones) y alta intensidad, se muestra un incremento en la generación de BDNF en comparación a un MICT . Por tanto, se asume que una mayor demanda en energía aeróbica provoca mayores cambios adaptativos del metabolismo aeróbico junto con una implicación en el BDNF más sólida (De Assis et al., 2018).

En lo que respecta a la población sedentaria, se ha detectado una menor o incluso inexistente respuesta en ciertos factores neurotróficos ante el ejercicio de baja intensidad (Goda et al., 2013; Schmolesky et al., 2013). Por el contrario, en sujetos con mejor condición física se da una mayor adaptación en la señalización neurotrófica ante este tipo de ejercicio. Esto puede explicarse debido a que el incremento de la producción de estos factores neuronales regula positivamente su expresión, la cual se encuentra en niveles basales superiores en personas con mejor condición física (Chen et al., 2007). En el caso del BDNF, su propia señalización puede reclutar la vía MAPK como una conexión cruzada con la vía de activación de la fosfatidilinositol-3 quinasa (PI-3K)/Akt, activando la vía del BDNF, creando así un ciclo reiterativo en la estimulación del BDNF (Chen et al., 2007).

Por otro lado, otra explicación es la existencia de receptores específico de ciertos factores neurotróficos, como se conoce en el BDNF. Estos receptores pueden modular la supervivencia y la actividad neuronal al unirse en la superficie de la célula a su receptor de alta afinidad, la tropomiosina quinasa B (TrkB). Esta acción permite el inicio de cascadas de señalización intracelular. Por lo tanto, la disposición de los receptores TrkB está controlada positivamente por la estimulación del BDNF (Chen et al., 2007; Haapasalo et al., 2002).

Debido a estos mecanismos, los sujetos entrenados, aun generando mayor cantidad de BDNF dependiente del ejercicio, también disponen de un sistema de señalización y unión BDNF-TrkB más eficiente. Esto explicaría el rápido descenso de BDNF visto en esta población durante la recuperación ante el ejercicio (De Assis et al., 2018).

El ejercicio físico también índice de forma positiva en la estimulación del IGF-1, por lo que ha sido estudiado en gran medida, teniendo generalmente una incidencia positiva en las capacidades cognitivas (Pontifex et al., 2019).

Para conocer el efecto del ejercicio físico en el IGF-1, varios estudios han diferenciado entre el libre IGF-1 o unido a las proteínas portadoras (IGFBP1 a IGFB6) y el IGF-1 total (representa todas sus formas en plasma). Según un metaanálisis reciente (De Alcantara Borba et al., 2020), se concluye que el IGF-1 total se incrementa ante la práctica de MICT ( $P=0.1$ ), pero no ocurre de igual forma con el libre IGF-1 ( $P=.36$ ) (De Alcantara Borba et al., 2020).

Esto puede ser debido a que la concentración de IGF-1 libre se encuentra en menor medida en sangre, por lo que hace que su interacción con los portadores de proteínas sea de forma rápida tras su liberación en el torrente sanguíneo. Además, hay que destacar que su vida media es entre 10-20 minutos, esto hace que sus cambios no se observen en un ejercicio de larga duración (De Alcantara Borba et al., 2020).

Además, se ha observado como la variable condición física se correlaciona de forma positiva con la concentración total de IGF-1, sin encontrar diferencias según el género, pero sí según la edad, ya que a mayor edad se da una reducción en la capacidad aeróbica máxima, y este deterioro se relaciona con este descenso en IGF-1 (Haydar et al., 2000). Aun así, diversos estudios donde se ha dado una mejora en  $VO_2\text{max}$  a través de un programa MICT, no han encontrado un incremento en la concentración este péptido en sangre. Este hecho puede darse debido a la pérdida de masa

muscular dada en este tipo de ejercicio junto a un posible estado catabólico, por lo que este mecanismo puede ser el responsable de la pérdida de IGF-1 en sangre (De Alcantara Borba et al., 2020).

#### **1.4.1.2.Efecto del entrenamiento de fuerza en los factores de crecimiento neuronal.**

La liberación de proteínas a través del sistema muscular durante la práctica del entrenamiento de fuerza, ha mostrado tener un efecto neuroprotector y de supervivencia neuronal (Haverkamp et al., 2020; T. Yang et al., 2020). Aun así, no existe una clara evidencia sobre el efecto en la liberación de BDNF a través de este tipo de entrenamiento en adultos jóvenes (Izzati et al., 2021).

A través de un reciente metaanálisis, (Izzati et al., 2021), tan solo tres estudios (Figueiredo et al., 2019; Seifert et al., 2021; T. Yang et al., 2020) mostraron un incremento en factores neurotróficos en estado basal tras varias semanas de entrenamiento de fuerza. Sin embargo, un estudio de este metaanálisis (Kim, 2015), junto con otras investigaciones no incluidas en éste (Goekint et al., 2010; Szuhany et al., 2015), mostraron un descenso en la concentración de ciertos factores neuronales post intervención. Aun así, estos resultados deben ser interpretados con cautela, ya que, debido a las diversas manifestaciones de la fuerza y la gran variabilidad entre protocolos de entrenamientos, los resultados podrían estar en parte sesgados.

En relación a la duración, tras analizar diversos estudios que han observado el efecto del entrenamiento de fuerza en el IGF-1 durante 5 semanas (Eliakimt et al., 1996), 8 semanas (Gregory et al., 2013; Kraemer et al., 2017) o 12 semanas (Schiffer, 2009), no encontraron resultados fiables, ya que los resultados son inconsistentes. Esto a su vez puede ser debido a la frecuencia de entrenamiento que se desarrolla en estas semanas. A través del metaanálisis llevado a cabo por Knaepen et al., (2010), se ha propuesto que, en este tipo de programa, la frecuencia debe ser de 5

entrenamientos a la semana para poder incrementar la concentración de diversos péptidos, como el nivel de BDNF. Aun así, Kim (2015), mostró un descenso del BDNF en el grupo experimental a pesar de desarrollar una frecuencia de 5 sesiones a la semana durante 8 semanas. Por otro lado, son varios los trabajos que han estudiado el efecto de la fuerza en el IGF-1/GH (Hejazi, 2017b) debido a su rol para mantener la masa muscular en una variedad de acciones fisiológicas, como la síntesis proteica, la proliferación celular y el metabolismo de la glucosa (Weltman et al., 2003).

Un reciente metaanálisis concluye que al igual que ocurre con el entrenamiento MICT, tras el trabajo de la fuerza, se ha observado un incremento en el IGF-1 total ( $p=.003$ ), pero no en el libre ( $P=.37$ ) (De Alcantara Borba et al., 2020). Esta liberación de IGF-1 provocada por el entrenamiento de fuerza, estimula el desarrollo del tejido neuronal y muscular, por lo que juega un papel importante en la neurogénesis (Crewther et al., 2006). Además, este incremento en la secreción del IGF-1 debido al entrenamiento de fuerza es necesario para transformar pro-BDNF en BDNF en el sistema nervioso central y atravesar la barrera hematoencefálica y así provocar neurogénesis y plasticidad sináptica (Nishijima et al., 2010).

A pesar de estos resultados vistos en el anterior metaanálisis, en estudios con adultos jóvenes empleando entrenamiento de fuerza con diferentes volúmenes e intensidades (6 series X 10 repeticiones al 75% 1 repetición máxima [RM] (Nindl et al., 2017); (3 series X 10 repeticiones al 80% 1RM) (Goekint et al., 2010) se encontraron un descenso en el IGF-1 libre.

Este efecto negativo se justifica debido a un posible retraso en su producción, ya que tanto la síntesis y secreción de GH son necesarias en un primer momento para que a continuación ocurra la liberación de IGF-1. Otro de los motivos que puede justificar esta reducción del IGF-1 libre es el incremento de captura de las proteínas portadoras (IGFBs) durante el ejercicio, la cual ha

mostrado tener una mayor concentración y eficacia al final del ejercicio y no durante el mismo (Nindl et al., 2017).

Aun así, debido a los diferentes protocolos, con diferentes intensidades y volúmenes, diversos estudios reportan resultados diversos en la concentración de IGF-1 (Szuhany et al., 2015; Velloso, 2018). Como muestra de esta divergencia en los resultados, otros estudios han reportado una falta de incremento post-ejercicio; justo después del ejercicio en la concentración de IGF-1 periférica tras un programa de fuerza con altas cargas durante 12 semana en jóvenes adultos (Schiffer et al., 2009).

Además, otros estudios como Hasani-Ranjbar et al. (2012), no encontraron un incremento de forma aguda en el IGF-1 total tras realizar 4 ejercicios de fuerza (3 series X 10 repeticiones al 70-80% 1RM) en sujetos activos e inactivos. A pesar de esta falta de estimulación, el efecto del ejercicio genera en el IGF-1 una mejor acción y funcionamiento de los portadores, por lo que esto puede llegar a generar mejoras en el nivel basal de IGF-1 tras un programa de entrenamiento de mayor duración (De Alcantara Borba et al., 2020). De igual forma, en el trabajo de Taylor et al. (2012), no se observó ninguna estimulación del IGF-1 tras 20 minutos al finalizar ejercicios de fuerza unilateral en los miembros inferiores a diferentes intensidades.

Si comparamos el efecto MICT frente al entrenamiento de fuerza, éste ha mostrado un mayor efecto en el IGF-1 frente al MICT (0.81 vs 0.46) (De Alcantara Borba et al., 2020). A pesar de las diferencias entre ambos tipos de ejercicios, uno de los motivos que justifican esta diferencia en la estimulación en el IGF-1 es la mayor duración de la concentración muscular en el MICT. Por tanto, puede ser que la estimulación del IGF-1 sea sensible al tiempo en el cual el músculo permanece en contracción más que a la intensidad o al volumen total de la sesión de entrenamiento (De Alcantara Borba et al., 2020).



#### **1.4.1.3.Efecto del entrenamiento HIIT en los factores de crecimiento neuronal.**

Debido al auge en los últimos años de nuevas tendencias en el fitness, el entrenamiento de alta intensidad ha sido tendencia desde 2014 hasta la actualidad en la población en general. Esto hace que se este tipo de entrenamiento haya generado un gran interés entre los investigadores para comprobar su efecto en la salud (ACSM, 2021).

Este tipo de entrenamiento consiste en repetir ejercicios de corta duración a intensidades cercanas al máximo, máximo o supramáximo. Estos esfuerzos de intensidades altas son combinados con periodos de recuperación, que pueden ser a través de ejercicios de intensidad ligera-moderada o descansos pasivos (Gillen et al., 2018). Dentro de este tipo de entrenamiento, se puede diferenciar el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT). Este tipo de entrenamiento consiste en realizar esfuerzos desde 2-4 minutos por intervalo. Por otro lado, se encuentran los entrenamientos de intervalos de sprint (SIT), donde se realizan ejercicios de corta duración (<30 segundos), pero a intensidad máximas o supramáximas (MacInnis & Gibala, 2017). Aun diferenciándose HIIT y SIT, la literatura científica ha establecido el concepto HIIT de forma unánime para referirse a este tipo de entrenamiento de intensidad elevada.

El HIIT puede ser adaptado según la edad, nivel de condición física y estado de salud. Además, este método ha tomado un rol importante en la sociedad debido a la reducción de su tiempo de su aplicación (<30 min). Por otro lado, ha demostrado mejoras metabólica periféricas similares o incluso mayores en comparación con el MICT (Tarnopolsky & Gibala, 2016). Además de este efecto, actualmente existe evidencia de la incidencia del HIIT en otros sistemas del ser humano, como el sistema nervioso central y más concretamente, la capacidad cognitiva y especialmente las funciones ejecutivas (S. S. Hsieh et al., 2020).

Estos cambios funcionales ejecutivos, son explicados en parte por la incidencia del HIIT en los factores neurotróficos, favoreciendo la neurogénesis y neuroplasticidad (Moreau & Chou, 2019). Entre estos factores neurotróficos, el más estudiado debido a su efecto en la plasticidad cerebral es el IGF-1 (De Alcantara Borba et al., 2020; Gregory et al., 2013; Kraemer et al., 2017).

Centrándonos en la población joven adulta, según el reciente metaanálisis de Garcia-Suarez et al. (2021), se muestra como el HIIT incrementa tanto de forma aguda como crónica la concentración periférica de ciertos factores neurotróficos. Por tanto, estos resultados sugieren que el HIIT puede llegar a ser una estrategia efectiva para la mejora de la cognición en estas edades.

Entre los mecanismos más estudiados que explican este incremento neurotrófico, se encuentra la acumulación de lactato en sangre. Concretamente, el SIT se relaciona con un mayor incremento en el metabolismo de la glucosa y generación de lactato, siendo ambas importantes fuentes de energía para el cerebro humano (Hashimoto et al., 2018). Aunque en estado de reposo la glucosa sea la principal fuente del metabolismo cerebral, durante el HIIT el consumo cerebral de glucosa disminuye, debido a un aumento del lactato sanguíneo, el cual genera un incremento de la captación cerebral (Kujach et al., 2020). Así, el cerebro usa el lactato para compensar el incremento de energía necesario para mantener la actividad neuronal durante el HIIT (Weston et al., 2014).

En ratones, se ha observado cómo la elevación del lactato genera un incremento en la expresión y el desarrollo de los genes asociados con la cognición, como el IGF-1 (Hayek, Khalifeh, Zibara, Assaad, Emmanuel, El-ghandour, et al., 2019). En humanos, aunque exista cierta evidencia que nos confirman estos hallazgos, recientes investigaciones sugieren similares respuestas en el cerebro ante el lactato, produciendo una mejora cognitiva como resultado de la síntesis o liberación de neuroprotectores modulados por un alta concentración de lactato en sangre (Brooks, 2018; Hashimoto et al., 2018; Kujach et al., 2020).

Esta hipótesis es contrastada en el estudio de Weaver et al. (2021), donde encontraron que el aumento del nivel de lactato en sangre inducido por el ejercicio agudo se correlaciona con la cantidad de concentración de factores neurotróficos similares al IGF-1, como es el BDNF. Además, este incremento obtuvo significancia respecto a los valores iniciales tras un SIT y en menor medida a través de HIIT y MICT.

Por otro lado, se ha mostrado cómo tras la aplicación de un SIT, la captación arterial y cerebral de lactato se incrementa, lo que sugiere que la acumulación de lactato sistémica afecta a la captación de lactato cerebral puede influir en las funciones ejecutivas tras el ejercicio (Weston et al., 2014). Recientemente, se ha observado cómo el lactado modula el estado redox de las neuronas, alterando la relación  $NAD^+/NADH$ , lo que lleva a la activación de diferentes genes del hipocampo ( $PGC1\alpha$ /FNDC5). Éste gen es un regulador positivo de los niveles de BDNF en el cerebro, principalmente en el hipocampo (Wrann et al., 2013), por lo que puede inducir una mayor síntesis de BDNF (Hayek, Khalifeh, Zibara, Assaad, Emmanuel, Karnib, et al., 2019). Por ello, se sugiere que la activación del receptor  $PGC1\alpha$  es inducida por el ejercicio en las células del músculo esquelético, y además podría activar la expresión del gen FNDC5.

En relación a los resultados encontrados en este metaanálisis (Garcia-Suarez et al., 2021), se observa como el entrenamiento de HIIT de forma crónica mejora la capacidad de las plaquetas para liberar BDNF (Gejl et al., 2019).

Otra variable a tener presente en el efecto del HIIT sobre los factores de crecimiento neuronal es la condición física. En los resultados de Garcia-Suarez et al., (2021), el nivel de fitness no parece ser un elemento modulador en respuesta del BDNF ante el ejercicio intenso. Estos resultados son contrarios a los encontrados en el metaanálisis de Lanct et al., (2017). A pesar de estas diferencias, las personas entrenadas muestran un mayor número de receptores de BDNF en los órganos

periféricos en comparación a sujetos no entrenados, lo cual podría mostrar diferentes respuesta en la concentración de BDNF circulante durante el ejercicio (Nofuji et al., 2012).

En comparación con personas sedentarias, éstas han mostrado una menor síntesis y liberación de BDNF tras un ejercicio intenso. Esto junto a una menor capacidad de captación de BDNF tras el ejercicio, puede incidir de forma negativa en el rendimiento cognitivo en comparación a personas entrenadas.

Por otro lado, al comparar el efecto del HIIT con otros tipos de ejercicios, se observa cómo la intensidad del ejercicio permite una mayor concentración periférica de BDNF en comparación con otros de intensidad baja-moderada (Kao et al., 2018). De esta forma, al comparar un protocolo de ejercicios MICT con HIIT, se observa cómo éste último induce cortas dosis de estrés oxidativo e inflamación, generando una mayor eficiencia en la activación de la corteza prefrontal, incrementando el rendimiento cognitivo, incluyendo las funciones ejecutivas (Saucedo Marquez et al., 2015). Estos mismos autores sugieren que las contracciones del músculo esquelético durante el HIIT pueden provocar esta respuesta bioquímica, provocando un incremento del BDNF en el cerebro.

En el estudio de Weaver et al., (2021), donde se comprobó el efecto de 3 tipos de ejercicios (HIIT, SIT y MICT) en diferentes factores de crecimiento en jóvenes adultos, se pudo observar cómo el SIT fue el que obtuvo un incremento significativo en relación al estado inicial. Este efecto fue mantenido en varios momentos del entrenamiento, consiguiendo su punto máximo al final de ejercicio. Además, este resultado se mantuvo tras el finalizar el entrenamiento e incluso durante el periodo de recuperación.

Por último, en relación al género, se han observado valores similares en estado basal entre hombres y mujeres (Weaver et al., 2021). Aun así, el género se ha reportado como un moderador en la señalización de la función del BDNF (Chan & Ye, 2017).

A través del estudio de Rentería et al., (2019), en el cual se desarrolla un programa de HIIT durante 12 semanas con mujeres jóvenes adultas sedentarias, se observa un incremento de ciertos factores neurotróficos respecto al GC. Aun así, la concentración de éstos inmediatamente tras finalizar un esfuerzo progresivo fue más bajo después de las 12 semanas de HIIT. De igual forma, nos encontramos con el mismo efecto ante trabajos similares (Hebisz et al., 2019). Este hecho nos sugiere que 12 semanas de HIIT incrementó la sensibilidad de los factores neurotróficos estudiados en los órganos centrales y periféricos después del ejercicio agudo, por lo que la longitud del programa juega un rol fundamental para modificar la concentración de factores periférico. A pesar de estas diferencias, son pocos los estudios que han comprobado el efecto del HIIT en mujeres adultas jóvenes (Rentería et al., 2019).

Si comparamos el efecto del HIIT según el género, se observa cómo en mujeres puede darse una mayor tendencia hacia la estimulación de estos factores neurotróficos tras la ejecución de HIIT, principalmente en el efecto crónico (Garcia-Suarez et al., 2021).

Estas diferencias fueron significativas tanto en el SIT como en el MICT. Por lo que las principales diferencias encontradas en esta investigación según el género, fue el incremento de BDNF que se dio en mujeres tras finalizar el SIT en adelante ( $p < 0.001$ ), en comparación de la respuesta en hombres ( $p = 0.005$ ) (Weaver et al., 2021). Además, viendo las diferencias entre MICT y SIT según el género, en mujeres se observó un incremento significativo en el BDNF a través del MICT en comparación a los hombres durante la recuperación activa ( $p = 0.21$ ) y pasiva ( $p < 0.001$ ) (Weaver et al., 2021).

Esta diferencia puede ser explicada por el rol de los estrógenos, los cuales son favorecedores del estradiol  $17\beta$  en la síntesis del BDNF en el cerebro (Wu et al., 2015). Esta concentración de estrógenos se modifican según el periodo del ciclo menstrual, encontrándose altos niveles en la fase folicular (Draper et al., 2018).

De esta forma, según el momento del ciclo menstrual y debido a esta mayor existencia de contenido de plaquetas en mujeres que en hombres (Ranucci et al., 2019), existe una respuesta mayor de estimulación de los factores neurotróficos en mujeres en comparación a los hombres (García-Suarez et al., 2021) ante diferentes tipos de ejercicios (Hejazi, 2017b).

Centrándonos en el efecto del HIIT en el IGF-1, podemos observar que se trata de una estrategia efectiva para una mayor estimulación de este factor neurotrófico en jóvenes adultos, tanto de forma aguda como crónica (Hejazi, 2017b; Weaver et al., 2021). Este tipo de ejercicio estimula la expresión y la liberación de IGF-1 en el hígado y a continuación da lugar a una mayor captación cerebral (Carro et al., 2000) favoreciendo la neurogénesis y la plasticidad sináptica (Nishijima et al., 2010).

Esta neurogénesis y plasticidad es producida por diferentes mecanismos, destacando el incremento que se produce tanto en la acidez de la circulación en sangre como en el músculo esquelético al realizar HIIT. Estos cambios locales y sistémicos provocados por el HIIT en el desarrollo extracelular, podría incidir en la liberación de IGF-1. Así mismo, el pH extracelular ha sido reconocido como regulador de la interacción del IGF-1 con diversas células y componentes del extracelular (Gibala et al., 2006).

Estudios previos con jóvenes adultos, han sugerido que la intensidad del ejercicio es fundamental para la liberación de hormonas de crecimiento, como el IGF-1, ya que la magnitud del efecto se eleva de forma lineal a la vez que se incrementa la intensidad del ejercicio (Pritzlaff-roy et al.,

2002). Por ello, estudios que comparan el efecto agudo del HIIT con MICT, han observado un mayor efecto en la estimulación del IGF-1 a través del entrenamiento interválico (Weaver et al., 2021). Siguiendo en la misma línea, a través del estudio de Hejazi et al, (2017) se observa cómo tras 10 semanas de ejercicios de alta intensidad, se produjo un incremento en la circulación de IGF-1 en una población de adultos jóvenes.

Anteriormente, a través del estudio de Weaver et al., (2021) se observó como el SIT era el método más óptimo para darse un cambio significativo en el BDNF en jóvenes adultos frente al MICT y HIIT. De igual forma, se produce un incremento significativo en la estimulación del IGF-1 a través del SIT, dándose una reducción durante el ejercicio, y encontrando su punto máximo durante la recuperación activa (Weaver et al., 2021). A pesar de no encontrar cambios significativos a través del MICT y HIIT en el IGF-1, estos fueron relativamente más elevados que SIT al final de la recuperación activa y pasiva. Y, además, al comparar el MICT con SIT, se da un mayor cambio en este último al final del ejercicio. De esta forma, al igual que en la respuesta en el BDNF, la intensidad es un factor clave para su estimulación del IGF-1 a través del ejercicio físico (Weaver et al., 2021).

#### ***1.4.2. Nivel de práctica de actividad física y funciones ejecutivas.***

La actividad diaria se ha categorizado en 3 áreas, las cuales son: sueño, comportamiento sedentario y AF (Peterson et al., 2018). Actualmente, tanto el comportamiento sedentario, entendido éste como cualquier comportamiento no relacionado con el sueño que usa un mínimo de gasto energético ( $\leq 1.5$  equivalente metabólico [METs] y realizado en posición sentado, reclinado o acostado (Tremblay et al., 2017), como la falta de AF diaria, se han convertido en un problema social a nivel mundial (Peterson et al., 2018).

Estudios previos han observado cómo en adultos jóvenes se da una alta prevalencia de sedentarismo, registrando de media hasta 10 horas/día (Unick et al., 2017). Además, tras analizar el comportamiento sedentario en esta etapa, se puede hablar de un importante incremento del tiempo en posición sedentaria, debido principalmente a una reducción significativa de AF moderada-vigorosa en los años anteriores. Por ello, a través de la revisión sistemática de Hayes et al., (2019), en la cual se estudia el cambio actitudinal entre la adolescencia y los primeros años de adultos, se observa de forma clara una reducción importante de la AF con la edad, mientras que el comportamiento sedentario se ve incrementado. Esto conlleva un mayor riesgo para el desarrollo de enfermedades crónicas y mortalidad de forma precoz (Ellingson et al., 2018).

Además, si comparamos la diferencia entre géneros, existe una mayor inactividad física en mujeres que en hombres (Hallal et al., 2012). Por ello, las mujeres tienen un mayor riesgo de sedentarismo e inactividad física, lo cual puede generar más situaciones de estrés y ansiedad, conllevando una disminución en el rendimiento cognitivo o incluso en tareas que comprometan a las funciones ejecutivas (Edwards & Loprinzi, 2016). Esta situación puede resultar preocupante, ya que esta prevalencia de inactividad física continúa en las siguientes etapas (Segar et al., 2008).

Por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) en su último Plan de Acción Global en AF (GAPPA), plantea reducir el nivel de inactividad física en adultos y adolescentes en un 18% para 2030 (World Health Organization, 2018). Estas medidas son muy necesarias en la sociedad actual, ya que en las últimas estimaciones globales se muestran como  $\frac{1}{4}$  de los adultos (27.5%) no realizan las recomendaciones establecidas por la OMS (Arocha Rodulfo, 2019). Para ello, la OMS se ha visto obligada a adoptar nuevas recomendaciones en la población adulta, incrementando de 150 a 300 min de actividad de intensidad moderada a la semana o 150 minutos de actividad intensa por semana. Este cambio en las recomendaciones son promovidas principalmente por el



incremento del tiempo en posición sedentaria de la población adulta en los últimos años, y las consecuencias de este en la salud (Bull et al., 2020).

El efecto de este cambio comportamental ha conllevado un incremento en el gasto sanitario a nivel mundial de billones de dólares (Ding et al., 2016), junto a una mayor prevalencia de morbilidad temprana, mortalidad y un descenso en la calidad de vida relacionada con la salud (Tremblay et al., 2017).

En los últimos años, la ciencia ha mostrado un gran interés en conocer el efecto de la inactividad física y la conducta sedentaria en el cerebro y en las capacidades cognitivas (Ellingson et al., 2018). Esto se debe a los resultados encontrados en estudios previos, los cuales reportaron una asociación entre la AF y un estilo de vida activo con un descenso significativo del riesgo de demencia y deterioro cognitivo en mayores (Engeroff et al., 2018). Aun así, a pesar del foco de esta temática en la población adulta, es de interés conocer el efecto de la inactividad física y de las conductas sedentarias en adultos jóvenes, ya que este periodo se trata de un momento crítico para consolidar las vías neuronales y sinápticas. Por ello, la reducción del tiempo en posiciones sedentarias puede ser importante en el desarrollo de las capacidades cognitivas, y más concretamente, en las funciones ejecutivas (Salas-Gomez et al., 2020). Por el contrario, un comportamiento sedentario mantenido en el tiempo, se relaciona con un incremento de pérdida de masa muscular, mayor resistencia a la insulina, incremento de la masa grasa (Narici et al., 2021) junto a cambios sociales y psicológicos (Brooks et al., 2020).

En relación a la salud mental, se ha podido ver como en adultos jóvenes se ha manifestado un incremento de tiempo de exposición a pantallas, generando esto peor calidad del sueño (Sañudo et al., 2020) e incrementándose, como consecuencia, el riesgo de deterioro en la salud mental en estas edades debido a un aumento de estrés mental y depresión (Hayes et al., 2019). Además, se

han encontrado cambios comportamentales poco saludables, como, por ejemplo, una mayor ingesta de alimentos poco saludables. Todos estos cambios han generado una afectación negativa en la cognición de forma prematura, encontrando déficits en las funciones ejecutivas en adultos jóvenes (Appelhans et al., 2021).

Esto puede conllevar a un efecto a medio-largo plazo en la cognición adulta, ya que se conoce cómo el desarrollo de las funciones ejecutivas puede ser interrumpido por experiencias de la vida diaria, lo que lleva a una alteración cognitiva temporal con el afianzamiento de comportamientos inusuales y en su mayoría poco saludables (Hall et al., 2008). Por estos motivos el sedentarismo viene siendo un problema social en toda la población (Arocha Rodulfo, 2019). Aunque estos cambios se han incrementado durante la pandemia de COVID-19, éstos se pueden entender de forma temporal. Por lo que estudios previos al COVID-19 ya concluían cómo el sedentarismo influye negativamente en la salud mental, incrementando el riesgo de depresión, ansiedad, bajo bienestar emocional en jóvenes adultos (Ellingson et al., 2018). Por tanto, es necesario establecer estrategias para reducir el tiempo de comportamientos sedentarios e incrementar los valores de actividad y ejercicio físico, ya que éstas se han mostrado como una herramienta eficaz ante la salud mental, la capacidad cognitiva y las funciones ejecutivas en esta etapa (B. F. Haverkamp, Wiersma, Vertessen, van Ewijk, et al., 2020).

En el estudio longitudinal de Loprinzi & Nooe (2016), en el cual se observó la correlación entre la AF diaria y el estado de las funciones ejecutivas en adultos jóvenes, se mostró una alta correlación entre un menor tiempo de comportamiento sedentario con un mejor rendimiento ejecutivo. Además, en el estudio transversal de Salas-Gomez et al. (2020), realizado con estudiantes universitarios, se obtuvo una alta correlación entre la cantidad total de pasos y el resultado en diferentes pruebas ejecutivas. Estos resultados nos hacen pensar que mantener un alto

nivel de AF y reducir el tiempo en posiciones sedentarias, pueden ser mecanismos de mejora de las funciones ejecutivas.

En relación a otros estudios que inciden en estas variables, se ha podido comprobar cómo el incremento del número de pasos diarios ha tenido un efecto positivo en el rendimiento de las funciones ejecutivas, correlacionándose además con una menor mortalidad (Lee et al., 2019) y con mejoras en la salud metabólica (Tudor-Locke et al., 2017).

Otros trabajos han encontrado tras 1 año de duración, cómo la reducción del tiempo sedentario produce cambios en varios aspectos de la salud mental en adultos jóvenes. Especialmente, se produjeron cambios en el estado de ánimo, depresión, fatiga mental, confusión, y mejora del sueño. Además, en este trabajo se concluye que una reducción de 60 minutos/día de posiciones sedentarias puede tener un efecto positivo en varios dominios de la cognición y la salud mental (Ellingson et al., 2018)

### ***1.4.3. Efectos de programas de ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas.***

#### **1.4.3.1. Programas específicos.**

El ejercicio aeróbico ha mostrado estar altamente relacionado con un incremento del rendimiento cognitivo, especialmente en el córtex prefrontal (Basso & Suzuki, 2017). Por ello, muchos estudios han querido comprobar el efecto de este tipo de entrenamiento en las funciones ejecutivas en adultos jóvenes. A través de estudios como el de Stroth et al. (2009) donde se desarrollaron 3 sesiones por semana durante 6 semanas, se obtuvieron mejoras en dichas funciones ejecutivas, dándose un incremento de la atención y concentración para el grupo aeróbico frente al GC. En un estudio posterior con una metodología similar (Asamoah et al., 2013), y con una duración de 17 semanas, se encontró un incremento del rendimiento en las funciones ejecutivas, más

concretamente en la flexibilidad cognitiva y en el control inhibitorio. De igual forma, en este otro estudio, tras 17 semanas de entrenamiento aeróbico en adultos jóvenes, también se encontraron mejoras significativas en la flexibilidad cognitiva y en el control inhibitorio (Stroth et al., 2010). Debido a estos resultados y a las diversas variables estudiadas relacionadas con la capacidad física, se piensa que los cambios cognitivos son mediados por el cambio producido en el  $VO_{2max}$ . Por ello, se le ha dado cierta importancia al entrenamiento aeróbico como herramienta para la mejora de las funciones ejecutivas. Según el estudio de Krames et al., (1999) encontraron que, tras 6 meses de entrenamiento aeróbico con personas sedentarias, y habiéndose dado mejoras en las funciones ejecutivas, la capacidad aeróbica se incrementó en un 5.1% en estos sujetos. Otros estudios que también emplearon el entrenamiento aeróbico durante 6 meses (Colcombe et al., 2004), obtuvieron un incremento del 10.2% en el  $VO_{2max}$ . Estos permitieron concluir que las mejoras en las funciones ejecutivas se deben al incremento en el  $VO_{2max}$ . A pesar de estos resultados, en el siguiente metaanálisis con 37 estudios (Etnier et al., 2006), se concluye que no hay evidencias que apoyen la relación entre las funciones ejecutivas y el nivel de condición física, pudiendo darse incluso un mayor rendimiento ejecutivo sin que se produzcan mejoras físicas (Ludyga et al., 2020). Así, tras analizar estudios correlacionados encontraron que la aptitud aeróbica solo representa el 8% de la varianza cognitiva.

En búsqueda de entender los mecanismos que generan mejoras ejecutivas a través del ejercicio físico en adultos jóvenes, diferentes estudios comienzan a realizar trabajos a través de diferentes manifestaciones más allá del trabajo aeróbico (Ludyga et al., 2020). Sin embargo, el ejercicio de fuerza multiarticular también ha mostrado un incremento en el rendimiento del control inhibitorio de forma aguda (Brush et al., 2016). En comparación con este estudio, se han observado resultados similares tras la ejecución de ejercicios monoarticulares. Además del tipo de ejercicio, se ha

analizado el efecto en las funciones ejecutivas según la velocidad de ejecución del ejercicio, ya sea alta o baja (Tsukamoto et al., 2017). En este caso se observó que, tras realizar los ejercicios de fuerza a mayor velocidad, se obtuvieron unas mejoras significativas en el control inhibitorio frente a la ejecución a una menor velocidad (Tsukamoto et al., 2017).

Mediante el metaanálisis de Ludyga et al., (2020), se conoce que intervenciones de larga duración a través del entrenamiento de fuerza han mostrado beneficios positivos en adultos jóvenes en varios de los dominios cognitivos, entre ellos, las funciones ejecutivas.

### **1.4.3.2. Entrenamiento de alta intensidad.**

#### ***1.4.3.2.1. Efecto agudo.***

El estudio del efecto del ejercicio físico de forma aguda en la cognición ha tenido un gran crecimiento en los últimos años debido a las teorías relacionadas con el envejecimiento (Pesce, 2009). Tradicionalmente no se incluía el efecto agudo en esta población, pero una vez profundizado y comprobado el efecto positivo en la salud de la población adulta (Ai et al., 2021; Roberts et al., 2017), la comunidad científica se ha preocupado en el estudio sobre la capacidad cognitiva en otras poblaciones como niños, adolescentes, adultos y en diversas patologías (S. S. Hsieh et al., 2020).

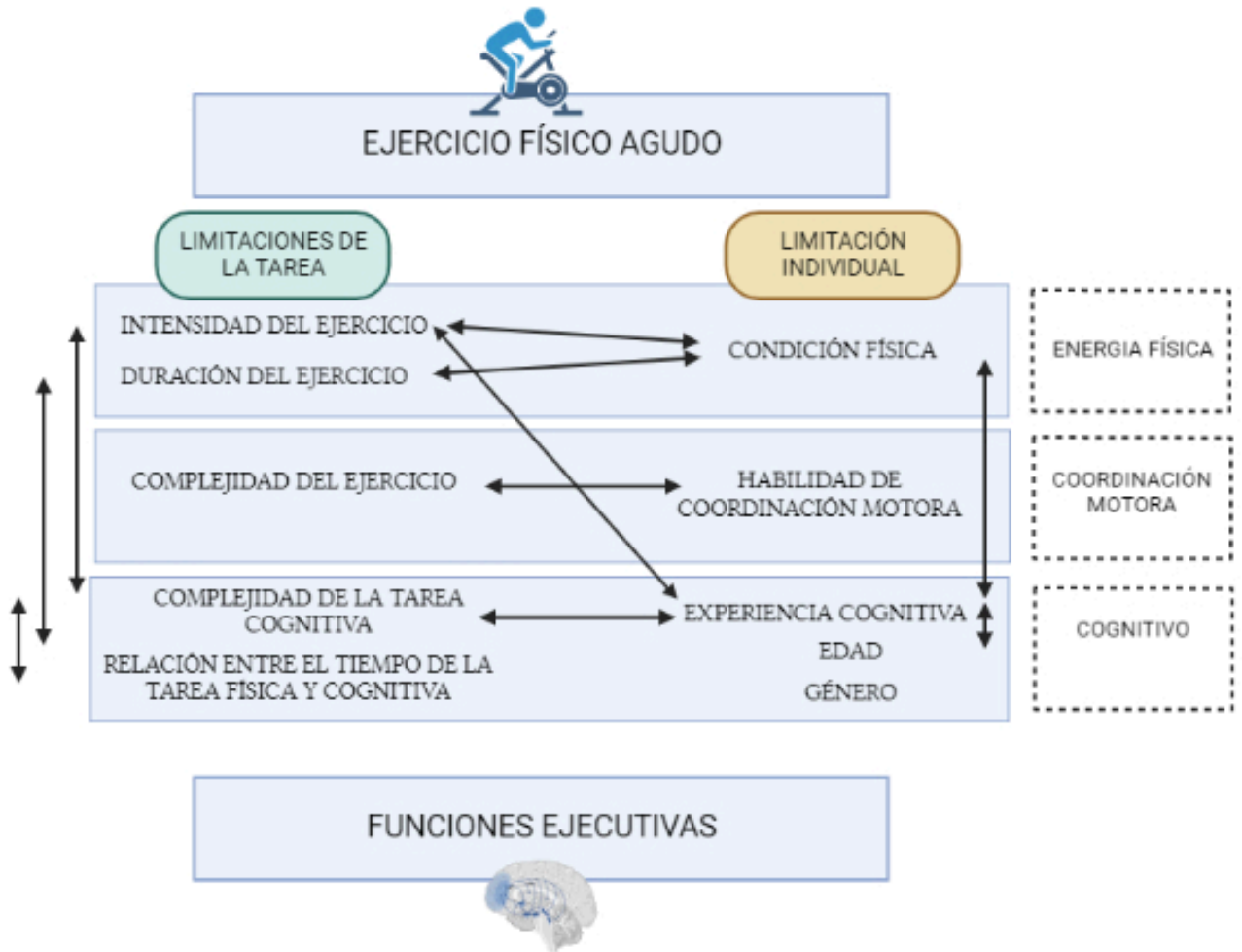
Por estos motivos, se conoce cómo el ejercicio físico, tanto de forma aguda como crónica, es un factor importante para un desarrollo saludable a nivel mental y cognitivo a cualquier edad (Pesce, 2009). Además, a través de estudios en diversas edades, se ha podido comprobar que existe una similitud importante en los resultados encontrados tras finalizar diversos programas de entrenamiento en la cognición y en las funciones ejecutivas (Chen et al., 2017; Liu-Ambrose et al., 2008), sin embargo, no parece que se da de igual forma en el efecto agudo.

Aunque se han observado beneficios agudos en las funciones ejecutivas a través de un ejercicio intenso (Ai et al., 2021; Ezekiel et al., 2004; Gmiat et al., 2017; S. S. Hsieh et al., 2020; Kimura et al., 2013; Kujach et al., 2018; McMorris et al., 1999; Pesce & Audiffren, 2011), otros han mostrado un efecto de deterioro en el rendimiento cognitivo (Gmiat et al., 2017; Kujach et al., 2018; Ligeza et al., 2018). Esta disminución del rendimiento se da de forma temporal, por lo que no es representativo de los efectos posteriores de la dosis de ejercicio intenso (Moreau & Chou, 2019).

A través de diversos metaanálisis, se puede observar un pequeño efecto positivo del ejercicio físico de alta intensidad de forma aguda en la cognición, con tamaños generales del efecto desde 0.10 (Chang et al., 2012) a 0.20 (Lambourne & Tomporowski, 2010). Sin embargo, los resultados encontrados son complejos de comparar entre ellos, ya que existen gran variedad en la metodología empleada. Además, se debe tener presente la interferencia creada por diversas variables en las funciones ejecutivas, tales como la edad, el género, la condición física de la población estudiada, momento de la evaluación de las funciones ejecutivas y la intensidad del ejercicio (Figura 2) (Pesce, 2009; Pontifex et al., 2019). Esto nos hace encontrar una gran variabilidad en los resultados, sin poder llegar a concluir de forma clara sobre el efecto del ejercicio en las funciones ejecutivas. Así, en ocasiones nos encontramos una generalización de los resultados. Por tanto, se debe diferenciar el efecto del ejercicio físico en las funciones ejecutivas según la intensidad y duración del ejercicio (McMorris & Graydon, 2000), ya que posiblemente, debido a las diferencias individuales no se dé el mismo efecto en diferentes poblaciones (Jeanick Brisswalter et al., 2002).

**Figura 1**

*Representación esquemática de los efectos de las limitaciones individuales y de la tarea en la relación aguda del ejercicio agudo y la cognición, con especial referencia a las limitaciones individuales derivadas del ejercicio crónico.*



Nota: Las flechas representan las interacciones reportadas en la literatura, entre las restricciones individuales y la tarea (flecha horizontal) y dentro de los subconjuntos de restricciones individuales y de la tarea respectivamente (flechas verticales) (Adaptado de Pesce, 2009).

A continuación, se va a revisar las principales y más actualizadas revisiones sobre el efecto agudo del ejercicio físico de intensidad elevada en una población adulta joven, (Ai et al., 2021; Chang et al., 2012; S. S. Hsieh et al., 2020; Lambourne & Tomporowski, 2010; Moreau & Chou,

2019), centrándonos principalmente en una población inactiva, sedentaria con una baja condición física.

Las funciones ejecutivas parecen alcanzar su máximo desarrollo durante la juventud, pero durante los 18-30 años puede darse un pequeño margen de mejora, o también conocido como “efecto techo”, en comparación con la población adulta mayor (Ludyga et al., 2016).

Aunque no existen muchos estudios que comparen entre jóvenes y mayores adultos, los resultados existentes muestran como el efecto agudo del ejercicio intenso es mayor en mayores que en jóvenes (Chang et al., 2012). Es por ello que personas con cierto deterioro cognitivo puedan experimentar mayores beneficios tras un esfuerzo intenso que personas saludables cognitivamente. Aun así, entre los 18-30 años, las funciones ejecutivas de la población joven adulta disponen de un margen de mejora y cómo ya es bien conocido, el ejercicio físico puede ser una estrategia para incrementar dicho rendimiento en estas edades (Ai et al., 2021).

En relación a la edad de la población de estudio, se han encontrado resultados diversos y contradictorios. Por ejemplo, en el estudio de Chang et al.,(2012), se indicó un pequeño efecto ( $d=0.10$ ) en el rendimiento cognitivo agudo a través del ejercicio intenso en una población entre 5 y <60 años. Por otro lado, en el metaanálisis de Lambourne & Tomporowski., (2010) en el cual tan solo se analizó el efecto en una población adulta joven, se reporta un pequeño efecto negativo del rendimiento cognitivo durante la ejecución del esfuerzo físico ( $d=0.20$ ). A través de ambos metaanálisis, se puede observar cómo diferentes edades pueden mostrar ciertas diferencias en la adaptación ejecutiva frente a un ejercicio intenso.

Además de la edad, el género es una variable fundamental para incluir en el análisis del efecto del ejercicio en las funciones ejecutivas, ya que debido a las diferencias fisiológicas entre hombre y mujeres, se pueden encontrar diversos resultados ante un mismo esfuerzo agudo (Chan



& Ye, 2017; Chang et al., 2012). Sin embargo, son pocos los trabajos que han investigado este efecto en el género femenino (Gmiat et al., 2017). Esto hace que no se conozca con exactitud el efecto agudo del ejercicio de intensidad elevada en las funciones ejecutivas en mujeres adultas jóvenes.

Aun así, anteriormente ya se habló de las diferencias existentes según el género en la diferentes funciones y señalizaciones relacionadas con las funciones ejecutivas, las cuales justifican el efecto en éstas, entre ellas la estimulación de ciertos factores neurotróficos. Por tanto, aunque el género es una variable que puede incidir en diferentes funciones y señalizaciones relacionadas con las funciones ejecutivas (Chan & Ye, 2017), actualmente faltan investigaciones que expliquen los principales mecanismos y diferencias en las pruebas ejecutivas según el género.

Además de la edad y el género, se conoce cómo pueden darse diferencias temporales en el efecto agudo sobre la capacidad ejecutiva en el HIIT, en el momento de aplicación del test cognitivo y la condición física del sujeto (Browne et al., 2017).

En relación a la condición física, si comparamos las respuestas del efecto agudo del ejercicio intenso en las funciones ejecutivas en una población con alto nivel de AF frente a una de bajo nivel, tan solo los participantes con altos niveles de AF se beneficiaron de la intervención y aumentaron significativamente su control inhibitorio después de este ejercicio (Budde et al., 2012). Por este motivo, el nivel de condición física en la población estudiada puede ser una variable a considerar para entender el efecto en las funciones ejecutivas (Pesce, 2009). Esto mantiene la hipótesis planteada en estudios anteriores, como el desarrollado por Brisswalter & Arcelin (1997), en el que observaron como sujetos bien entrenados eran capaces de mantener su rendimiento ejecutivo durante ejercicios fatigantes en comparación con personas menos entrenadas, en los cuales descendía su rendimiento cognitivo.

Estos autores concluyen que el efecto agudo del HIIT permite incrementar la excitabilidad cerebral en sujetos desentrenados, lo que puede justificar el descenso en el rendimiento cognitivo tras el esfuerzo. Sin embargo, en sujetos entrenados, debido al efecto crónico del entrenamiento, esta excitabilidad se da de forma moderada y consigue un mejor rendimiento en tareas mentales (Pesce, 2009).

En la revisión sistemática de Chang (2012), se categorizan los resultados según una baja, moderada o buena condición física. Aquí se puede observar cómo los participantes con mejor condición física es el único grupo con mejoras significativas en las funciones ejecutivas tanto inmediatas (0-1 min) como después del ejercicio de intensidad elevada (> 1 min). Mientras que los sujetos con una baja-moderada condición física muestran un incremento inmediatamente tras finalizar el ejercicio y el grupo con una moderada condición física obtuvo cierto beneficio tras un breve descanso tras finalizar el esfuerzo físico (Moreau & Chou, 2019; Moreau & Conway, 2013).

Estos resultados parecen indicar que cuando se realiza un esfuerzo agudo de alta intensidad con la misma duración e intensidad relativa, los participantes con un nivel de condición física más bajo muestran un peor resultado cognitivo en contraposición con los que tienen un mejor estado físico (S. S. Hsieh et al., 2020).

Esta variabilidad en los resultados encontrados ante un mismo esfuerzo relativo nos hace entender que es necesario un mayor número de investigaciones para entender en profundidad la dinámica de los efectos inducidos por el ejercicio en la cognición. Por otro lado, es necesario un mayor consenso metodológico, ya que la falta de éste genera una mayor discrepancia entre estudios con objetivos similares. Por este motivo, se observa una falta de unanimidad entre variables como la determinación de los umbrales, el método de cuantificación de la carga y las características de la población de estudio (sedentarios, adultos, jóvenes, deportistas, etc.), entre otras. Estos motivos,

pueden explicar algunas de las inconsistencias entre los estudios encontrados (Moreau & Chou, 2019).

Además, el momento de aplicación del test cognitivo (antes, durante, después o tras un largo tiempo tras el esfuerzo) ha mostrado ser una variable muy importante en el estudio del efecto agudo en las funciones ejecutivas (Chang et al., 2012). Esta complejidad hace que se tenga que contemplar el momento de la evaluación, ya que se pueden dar diferencias en su efecto hacia las funciones ejecutivas (Lambourne & Tomporowski, 2010).

Según el metaanálisis de Chang et al. (2012), durante un ejercicio intenso no se da ningún efecto que modere a las funciones ejecutivas. Además, centrándonos en la aplicación post esfuerzo, todo parece indicar que se conoce que en los primeros 10 minutos, el efecto es insignificante. Después de los 11-20 minutos del ejercicio, puede ser negativo y, por último, después de los 20 minutos se encuentran resultados positivos. De igual forma, en el metaanálisis de Lambourne & Tomporowski., (2010) se observa un efecto negativo en el rendimiento ejecutivo durante la aplicación del esfuerzo ( $d=-0.14$ ). Sin embargo, tras finalizar el esfuerzo, el rendimiento es positivo ( $d=0.20$ ).

De esta forma, se puede afirmar que este deterioro desaparece rápidamente para generar una mejora cognitiva general similar o incluso superior a las dadas tras el ejercicio físico aeróbico (Kao et al., 2017). Esto puede ser debido a las exigencias fisiológicas de este tipo de ejercicio y además, de la capacidad de recuperación del sujeto tras el esfuerzo (MacInnis & Gibala, 2017).

Así, el efecto del ejercicio agudo en las funciones ejecutivas puede quedar influenciado significativamente por el momento de la evaluación cognitiva junto con la intensidad del ejercicio. Estas dos variables se han combinado de diferente forma en los estudios entre las diversas

metodologías de estudios, si bien su interacción puede afectar directamente al rendimiento de las funciones ejecutivas (Pontifex et al., 2019).

La intensidad del ejercicio se ha mostrado como una importante variable para incidir en las funciones ejecutivas. Aun así, varios autores han propuesto una relación en forma de U invertida entre la intensidad del ejercicio físico con los cambios en el rendimiento cognitivo. Esto sugiere que el efecto agudo en las funciones ejecutivas de un ejercicio de intensidad baja o de alta intensidad es menor en comparación con uno de intensidad moderada (Mehren et al., 2019).

Si comparamos este modelo según la condición física del sujeto, se observa cómo tan solo es aplicable para una población desentrenada, ya que sujetos entrenados mostraron un buen rendimiento en las pruebas cognitivas que realizaban durante el ejercicio intenso (Hüttermann & Memmert, 2014). Por ello, este modelo de U invertida, el cual se basa en la intensidad, debe ser interpretado con cautela, ya que es necesario profundizar tanto en el nivel de condición física del sujeto como en el momento de evaluación de las funciones ejecutivas.

Centrándonos en el momento de evaluación cognitiva, generalmente durante el desarrollo del ejercicio, suelen darse mejoras en acciones de doble tarea cuando las tareas cognitivas son de bajo orden (ej., tiempo en test de respuestas simples) en comparación con tareas complejas, como por ejemplo las funciones ejecutivas (Mekari et al., 2015). En este mismo trabajo, se observó una mayor eficiencia en la prueba Stroop test durante el ejercicio a intensidades elevadas (85% de la potencia máxima) en comparación a intensidades bajas (40% y 60% de la potencia máxima) (Mekari et al., 2015).

Inmediatamente después del ejercicio, se han encontrado mejoras similares en las funciones ejecutivas en varias intensidades. Así, tanto el ejercicio de moderada y alta intensidad conllevan mejoras post ejercicio en el control inhibitorio entre jóvenes adultos (Tsukamoto et al.,

2016). La mayoría de la evidencia científica apoya el ejercicio como herramienta para producir un efecto positivo en las funciones ejecutivas, siendo más notorio en el control inhibitorio, especialmente cuando son medidas inmediatamente después del ejercicio (Chang et al., 2012; Pontifex et al., 2019).

Por último, con un retraso tras el ejercicio de alta intensidad (>20 minutos), se ha observado una mayor mejora y/o mantenimiento del control inhibitorio en comparación con intensidades ligeras (Kao et al., 2018; Tsukamoto et al., 2016). Tsukamoto et al., (2016) encontraron mejoras similares en el control inhibitorio inmediatamente después del ejercicio tanto en el ejercicio de alta intensidad como en el grupo de intensidad moderada. Sin embargo, los resultados de este grupo volvieron a los valores iniciales mientras que el grupo HIIT mantuvo dichas mejoras. Estudios similares (S. Kao et al., 2018), también han encontrado estos resultados ante un esfuerzo intenso en comparación con otro grupo de intensidad moderada, tanto en el tiempo de respuesta como en la precisión del control inhibitorio en jóvenes adultos.

Respecto a la flexibilidad cognitiva y a la memoria de trabajo, se conoce menos el efecto del ejercicio de alta intensidad en las funciones ejecutivas tras un periodo de retraso (Moreau & Chou, 2019).

Una vez vista la importancia de la intensidad en el efecto de las funciones ejecutivas, se debe tener en cuenta que darle toda la importancia a la intensidad de la actividad puede ser insuficiente. Por ello, también es necesario conocer el efecto según la duración y el tipo de actividad (Pontifex et al., 2019). Todo parece indicar que existe una duración mínima necesaria para que los mecanismos que subyacen los cambios en las funciones ejecutivas a través del ejercicio físico se activen y mejoren dichas funciones. Actualmente, la mayoría de los estudios han utilizado una duración entre 16 y 35 minutos. En menor medida, son pocos los estudios que han

usado 10 minutos o menos (Pontifex et al., 2019). De hecho, en el metaanálisis de Chang et al. (2012), observaron cambios en la cognición en dosis de ejercicios de al menos 11 minutos. Por ello, es importante reflejar que superar los 10 minutos en el esfuerzo, representan un umbral clave para incidir en la cognición.

Finalmente, siguiendo las revisiones y metaanálisis centradas en la población adulta joven (Chang et al., 2012; Moreau & Chou, 2019), se ha observado cómo tras una única sesión se generan mejoras en el control inhibitorio (S. C. Kao et al., 2017) y flexibilidad cognitiva (Dupuy et al., 2018) en comparación con el GC. Sin embargo, en relación a la memoria de trabajo, los resultados han sido menos consistentes entre la población joven adulta. Algunos estudios no han mostrado cambios significativos entre antes y después del esfuerzo (Verburgh et al., 2013). Aun así, existe cierta evidencia que han reportado un efecto positivo (Gmiat et al., 2017; Martínez-Díaz et al., 2020; Weng et al., 2015) en esta función ejecutiva.

A pesar de esta falta de consistencia en el efecto del HIIT en la memoria de trabajo, se ha mostrado como en una población joven adulta, la velocidad de respuesta medida en una tarea de memoria de trabajo suele mejorar tras un esfuerzo intenso, pero la precisión suele reducirse (Chiu et al., 2014). Esto puede darse debido a una mayor concentración cerebral de catecolaminas inducida por el ejercicio, dando lugar a un procesamiento más rápido, pero el aumento del ruido neuronal puede afectar negativamente a la precisión (McMorris et al., 2011).

En la revisión sistemática de Hsieh et al., (2021), donde se incluyeron 23 estudios que analizan el efecto agudo del HIIT en una población adulta joven (18-30 años), 10 de ellos midieron el efecto en el control inhibitorio. De estos trabajos incluidos, 7 encontraban un efecto positivo en esta función ejecutiva a través del HIIT agudo en una población adulta joven (Hashimoto et al., 2018; Kao et al., 2017., Kao et al., 2018; Kujach et al., 2018; Miller et al., 2018). Por otro lado, 3

estudios no encontraron dicho efecto en el control inhibitorio en esta población a través del HIIT (Gmiat et al., 2017; Ligeza et al., 2018; Schwarck et al., 2019).

En esta misma revisión sistemática (S. S. Hsieh et al., 2020) se observa cómo la flexibilidad cognitiva es la siguiente función ejecutiva con mayor incidencia a través del HIIT. Entre sus resultados, dos estudios observaron un incremento en su rendimiento tras el esfuerzo HIIT (Dupuy et al., 2018; Kujach et al., 2018), mientras que 1 estudio no encontró beneficios (Schwarck et al., 2019). Por tanto, parece ser que el control inhibitorio es la función ejecutiva que más se ve afectada positivamente ante un HIIT agudo (S. S. Hsieh et al., 2020). Sin embargo, otros estudios han mostrado un efecto nulo del HIIT sobre la inhibición. Esto puede ser debido a motivos metodológicos, como por ejemplo una muestra reducida (Gmiat et al., 2017) con un total de 8 mujeres jóvenes y 6 de mediana edad o a una evaluación cognitiva en un tiempo inadecuado (Gmiat et al., 2017), con un intervalo de 1 hora entre el fin del ejercicio y la evaluación del control inhibitorio.

Por otro lado, para que se den mejoras en el control inhibitorio, la duración del estímulo se ha mostrado como un indicador necesario a controlar. Una duración considerablemente prolongada de ejercicio intenso (>25 minutos), podría generar una sobrecarga de fatiga, con un descenso de la oxigenación cerebral y/o descompensar el nivel de lactato en sangre. Como resultado, esto podría reducir el efecto facilitador del HIIT (Hsieh et al., 2021). De esta forma, en los estudios de Kao et al. (2017, 2018), con una duración del esfuerzo de 16 minutos, se consiguen mejoras en el control inhibitorio, mientras que en los estudios de Ligeza et al., (2018) y Schwarck et al., (2019), con una duración de 24 y 25 minutos respectivamente, no se logra incidir en esta función ejecutiva.

Aun así, estos resultados deben ser interpretados con cautela debido al dimorfismo sexual en la población estudiada en estos estudios. El género puede ser una variable que juegue un rol

importante en la magnitud del efecto en las funciones ejecutivas (S. S. Hsieh et al., 2020). Esto es apoyado en el metaanálisis de Chang et al., (2012), donde se concluye que al analizar el efecto del ejercicio agudo en ambos sexos de forma conjunta tienen un tamaño del efecto mayor sobre la cognición que los estudios que analizan ambos sexos por separado.

De los estudios incluidos en esta revisión, tan solo 2 estudios encuentran diferencias según el sexo de los sujetos (Ligeza et al., 2018) tras el ejercicio agudo, mostrando las mujeres una mayor secreción neurotrófica inducida por el ejercicio (Heaney et al., 2013).

A pesar de ello, en estudios como el de Budde et al., (2012) el género no parece influir entre el rendimiento en pruebas cognitivas y el nivel de condición física entre atletas entrenadas o poco entrenadas.

#### ***1.4.3.2.2. Efecto crónico.***

Según el metaanálisis desarrollado por Franca Haverkamp et al., (2020), los programas de ejercicio físico en adultos jóvenes han mostrado tener un efecto mayor en comparación con el agudo en las funciones ejecutivas, mostrando diferente manifestación según cada función ejecutiva, siendo la más beneficiada la memoria de trabajo. En relación a la flexibilidad cognitiva, ésta mostró un efecto menor y, por último, el control inhibitorio no mantuvo ningún cambio. Aunque estos datos parezcan ser totalmente clarificadores, se debe analizar si los programas de HIIT de forma específica inciden de igual forma en las funciones ejecutivas de una población adulta joven.

Para ello, y siguiendo el metaanálisis de Hsieh et al., (2020), de los 23 estudios incluidos en este trabajo, dónde se estudia el efecto crónico del HIIT en las funciones ejecutivas, 6 de ellos se centran en una población adulta joven. De estos 6 estudios, tan solo una investigación (Sousa



et al., 2018) reportó un efecto positivo en el control inhibitorio. En relación al resto de funciones ejecutivas, no se pudo comprobar un mayor efecto, tampoco en la memoria de trabajo (Nicolini et al., 2019) ni en la flexibilidad cognitiva (Eather et al., 2019) en una población adulta joven.

El efecto crónico del HIIT puede beneficiar el rendimiento de las funciones ejecutivas debido a diferentes mecanismos, algunos ya comentados anteriormente, entre los que destaca un descenso en las citoquinas relacionadas con la inflamación (Freitas et al., 2018), un incremento en la expresión de BDNF (Martínez-Díaz et al., 2020), una mayor sensibilidad a la insulina y una mayor absorción de la glucosa (Robinson et al., 2018). Además, a través del trabajo de Sousa et al., (2018) con jóvenes adultos, se observó cómo aquellos que conseguían una mayor frecuencia cardíaca durante el HIIT, mostraron mayor rendimiento del control inhibitorio después del entrenamiento en comparación con aquellos que mostraban una menor alteración cardíaca. Además, se ha observado cómo el esfuerzo físico por encima del 80% de la frecuencia cardíaca máxima, incrementa señales de ácido gamma-aminobutírico (GABA) en el córtex prefrontal y en el cíngulo anterior, las cuales están directamente relacionadas con las funciones ejecutivas (Maddock et al., 2016).

Estas adaptaciones se han podido observar con tan solo 4 semanas de HIIT de forma continuada, encontrándose cambios tanto a nivel estructural como funcional en las funciones ejecutivas (Asamoah et al., 2013). A pesar de estas necesidades mínima para que se den cambios, se han establecido como necesarias 20 semanas de duración de un programa HIIT para mostrar un mayor efecto en las adaptaciones ejecutivas (Ludyga et al., 2020).

Respecto a estos resultados, se conoce que variables como el género y la condición física de la población pueden incidir en el efecto en dichas funciones ejecutivas a través de un programa HIIT. De esta forma, y acercándonos a nuestra población de estudio, en la investigación de Zhang

et al., (2021), se puede ver cómo tras 6 semanas de HIIT con mujeres adultas jóvenes y sedentarias, se dieron mejoras respecto al GC en la cognición general, en la velocidad de procesamiento, memoria episódica y en la memoria de trabajo, mostrando ésta una tendencia hacia la significancia. Posiblemente, este resultado puede deberse al breve periodo de dicho programa de entrenamiento.

Si comparamos el efecto crónico del HIIT con otros tipos de métodos, como en este caso el MICT, (Said Mekari et al., 2020) durante 6 semanas en jóvenes adultos, se puede observar cómo el grupo HIIT obtuvo mejor rendimiento en varios de los test cognitivos que se realizaron, como el Trail Making test B y el Stroop test. El grupo HIIT mostró un menor tiempo de reacción ante estas tareas inhibitorias. Y en lo que respecta a la flexibilidad cognitiva, el grupo HIIT ejecutó la prueba Trail Making test en un tiempo menor que MICT. Además, tan solo se dieron mejoras en la parte B del test; en la parte del test que más solicita esta función ejecutiva. Estos resultados indican que a través del HIIT se podría dar un efecto mayor en las funciones ejecutivas frente al MICT.

En relación al tipo de ejercicio que se desarrolla en estos programas de HIIT (Ai et al., 2021; S. S. Hsieh et al., 2020) se puede encontrar principalmente trabajo en cicloergómetro, tapiz rodante o con el propio peso corporal. Ésta última opción, convierte al HIIT en un modo de entrenamiento eficiente, ya que para su práctica no se necesita ningún equipamiento ni un gran espacio. Debido a estas características, durante el periodo de confinamiento del COVID-19, la población universitaria española realizó un incremento de un 18.2% del tiempo realizando HIIT. Este se realizaba principalmente por nuevas plataformas online, redes sociales y app móviles que surgieron basadas en el HIIT.

Tomando en consideración todo lo anterior, son varios los ensayos clínicos aleatorizados que han mostrado cómo las intervenciones online pueden ser efectivas para la mejora de un

comportamiento más activo en mujeres (Peyman et al., 2018; J. Zhang & Jemmott, 2019). Sin embargo, pocos estudios han evaluado los efectos sobre las funciones ejecutivas y ciertos factores neurotróficos de interés en mujeres adultas jóvenes. Esto nos da pie a plantear los siguientes problemas de investigación.

# PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

---

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

El sedentarismo es un importante factor de salud pública asociado a numerosas patologías y que ha demostrado tener una importante implicación a nivel cognitivo. Aunque sabemos que el ejercicio físico puede tener una función preventiva en el manejo de estas asociaciones, se desconocen los condicionantes del ejercicio físico, así como los factores del estilo de vida que podrían contribuir en mayor medida a la mejora en la funcionalidad ejecutiva. Por tanto, podríamos plantearnos los siguientes problemas de investigación:

**P.1. ¿Cuáles son los efectos de un entrenamiento tipo HIIT sobre las funciones ejecutivas y los niveles circulantes de IGF-1 en jóvenes sedentarias? ¿Sería más efectivo este tipo de entrenamiento implementándolo con un aumento de la AF diaria?**

**P.2. ¿Supone esta implementación un factor determinante en el efecto del HIIT sobre otras variables como la condición física, la composición corporal y la calidad de vida de estas mujeres?**

En relación a la tolerancia al esfuerzo y a las adaptaciones agudas ante un esfuerzo máximo, es importante constatar el efecto este tipo de esfuerzo ante las respuestas adaptativas del IGF-1 y los resultados en las pruebas ejecutivas.

Teniendo esto en cuenta, se plantea la siguiente pregunta:

**P.3. ¿Cuál es el efecto agudo de un esfuerzo máximo sobre las funciones ejecutivas en mujeres jóvenes sedentarias? ¿Supone este tipo de esfuerzo un estímulo para producir una respuesta de IGF-1 en esta población?**

**P.4. ¿Existe relación entre los niveles circulantes de neurotrofinas y el rendimiento en pruebas de evaluación de las funciones ejecutivas en jóvenes mujeres sedentarias tras estos entrenamientos? ¿Se da esta asociación tras la realización de un esfuerzo máximo?**

Por último, una vez contrastado los resultados tras el programa de entrenamiento de 12 semanas, es interesante analizar si los posibles efectos dados tanto en las funciones ejecutivas, niveles circulantes de IGF-1 se mantienen en el tiempo. Además, es importante analizar el efecto de los posibles efectos en la composición corporal, condición física y en la calidad de vida. Por ello, se plantea la siguiente cuestión.

**P.5. De observarse algún efecto sobre las funciones ejecutivas y/o los niveles circulantes de IGF-1, ¿se mantendría éste latente durante, al menos, los tres primeros meses después de los entrenamientos? ¿Ocurriría lo mismo con la composición corporal, la condición física, la calidad de vida y, en general, con la práctica de AF?**

Las respuestas a todas estas preguntas se deben establecer según la problemática planteada y pasan por establecer una serie de objetivos claros y tangibles.

# OBJETIVOS

---

### **3. OBJETIVOS.**

#### **1.5. Objetivos generales.**

G.1. Determinar los efectos del entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), implementado con un aumento de la AF diaria o no, sobre las funciones ejecutivas, los niveles de IGF-1 y otros aspectos relacionados con la condición física, la composición corporal y la calidad de vida de mujeres universitarias sedentarias.

G.2. Analizar los efectos agudos producidos por la realización de un esfuerzo máximo sobre las funciones ejecutivas y las respuestas del IGF-1 en estas jóvenes.

G.3. Definir la relación entre las funciones ejecutivas y los niveles de IGF-1 después de un periodo de entrenamiento HIIT así como tras la realización de un esfuerzo máximo.

G.4. Evaluar, 12 semanas después de su finalización, el efecto residual de este tipo de entrenamientos sobre las funciones ejecutivas, los niveles de IGF-1, la condición física, la composición corporal, la calidad de vida y la práctica de AF en jóvenes mujeres sedentarias.

#### **1.6. Objetivos específicos.**

Relacionados con G1:

E.1. Cuantificar y contrastar los efectos, tanto en situación de reposo como en respuesta a un esfuerzo máximo, de un programa HIIT de 12 semanas implementado con un aumento en la AF diaria (HIIT+AF) con aquellos provocados por otro programa similar pero no implementado (HIIT) sobre la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio de jóvenes sedentarias.



E.2. Determinar y comparar los efectos de estas dos intervenciones sobre la concentración de IGF-1 en saliva, utilizando los valores de reposo, así como los resultantes de la realización de un esfuerzo máximo.

E.3. Analizar los cambios producidos por ambos tipos de entrenamiento sobre la resistencia cardiorrespiratoria y la fuerza muscular de universitarias sedentarias.

E.4. Evaluar los efectos que estos entrenamientos pudieran tener sobre la masa corporal, el IMC, la masa grasa y la masa muscular de estas jóvenes.

E.5. Valorar el efecto que, sobre la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud, y en particular sobre la salud física y la salud mental, pudieran generar ambos tipos de entrenamientos.

→ En relación con G2

E.6. Comprobar el efecto agudo de un esfuerzo máximo sobre cicloergómetro sobre el rendimiento en pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio.

E.7. Definir la respuesta de IGF-1 tras un esfuerzo de carácter máximo a través de los cambios en la concentración en saliva de este IGF-1.

→ En relación con G3

E8. Establecer las relaciones entre las puntuaciones obtenidas en pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio y los niveles salivales en reposo de IGF-1 de estas estudiantes antes y después de los entrenamientos realizados.

E9. Determinar el grado de relación entre el rendimiento en pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio y los niveles en saliva post-esfuerzo de IGF-1 antes y después de los entrenamientos realizados.

→ En relación con G4

E10. Definir la latencia de los efectos producidos por los entrenamientos 12 semanas después de su finalización sobre la capacidad de estas jóvenes mujeres en lo que respecta a la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio.

E11. Analizar el efecto residual de los entrenamientos realizados sobre las concentraciones salivales de IGF-1 en reposo y en respuesta al ejercicio máximo 12 semanas después de haber finalizado los mismos.

E12. Comprobar los cambios que, residualmente, se hayan mantenido tras 12 semanas después de haber finalizado los entrenamientos sobre la composición corporal y la calidad de vida de jóvenes estudiantes.

E.13. Analizar los cambios que se mantienen tras 12 semanas tras el fin del programa de entrenamiento sobre la calidad de vida de la población estudiada.

E14. Evaluar los niveles de práctica de AF diaria mantenidos por estas jóvenes universitarias a las 12 semanas de haber finalizado los entrenamientos.

# HIPÓTESIS

---

#### **4. HIPÓTESIS.**

Las hipótesis, establecidas según los problemas y objetivos planteados, son las siguientes:

H.1. Un programa HIIT de 12 semanas implementado con un aumento en la AF diaria (HIIT+AF) potencia, en mayor medida, la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio de jóvenes sedentarias que otro programa similar (HIIT) pero no implementado.

H.2. La realización de los dos programas basados en HIIT provoca, de forma indistinta, una disminución de la concentración salival de IGF-1 en reposo, así como un aumento tal concentración en respuesta a un esfuerzo máximo.

H.3. El programa de HIIT implementado con un aumento en la AF diaria produce mayores mejoras en la resistencia cardiorrespiratoria y en la fuerza muscular de universitarias sedentarias que el mismo programa no implementado.

H.4. Los dos entrenamientos generan, indistintamente, una reducción significativa en la masa corporal, el IMC y la masa grasa a la vez que un aumento de la masa muscular.

H.5. Tanto el entrenamiento HIIT implementado con AF diaria como el no implementado consiguen mejorar la percepción de la calidad de vida relacionada con la salud de jóvenes universitarias, especialmente en lo que respecta a la salud física y la salud mental.

H.6. Un esfuerzo máximo sobre cicloergómetro mejora el rendimiento en pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio.

H.7. Como respuesta a un esfuerzo máximo, las concentraciones en saliva de IGF-1 universitarias sedentarias experimentan un claro aumento.

H.8. Las puntuaciones obtenidas en pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio no guardan relación con los niveles salivales en reposo de IGF-1 de estas estudiantes medidas antes y después de los entrenamientos realizados.

H.9. Las puntuaciones derivadas de las pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad mental y el control inhibitorio obtenidas justo después de un esfuerzo máximo no están relacionadas con los niveles en saliva post-esfuerzo de IGF-1 ni antes y ni después de los entrenamientos realizados.

H.10. Después de 12 semanas tras la finalización de los entrenamientos, la capacidad de memoria de trabajo, de flexibilidad mental y de control inhibitorio se mantiene por encima de la observada al inicio de los mismos.

H.11. Los efectos de los entrenamientos sobre las concentraciones salivales de IGF-1 en reposo y en respuesta al ejercicio no se mantienen 12 semanas después de haber finalizado los mismos.

H.12. Los efectos observados sobre la composición corporal justo al finalizar los entrenamientos no se mantienen latentes 12 semanas después.

H.13. Tras 12 semanas de *Follow-up*, las mejoras sobre la calidad de vida relacionada con la salud producidas con los entrenamientos se mantienen latentes.

H.14. A las 12 semanas de haber finalizado el entrenamiento, las jóvenes sometidas al entrenamiento implementado (HIIT+AF) mantienen los niveles de práctica de AF diaria alcanzados durante dicha intervención, siendo estos superiores a los del resto de jóvenes estudiadas.

# **METODOLOGÍA**

---

## 5. METODOLOGÍA.

### 5.1. Diseño del estudio.

A fin de conseguir resolver los problemas planteados y, en consecuencia, alcanzar los objetivos establecidos, la presente investigación atiende a un diseño experimental controlado y aleatorizado (RCT), de tipo secuencial. con tres grupos paralelos y de medidas repetidas, siendo evaluadas en un pretest (T1), postest (T2) y tras el final del periodo de *Follow-up* (T3).

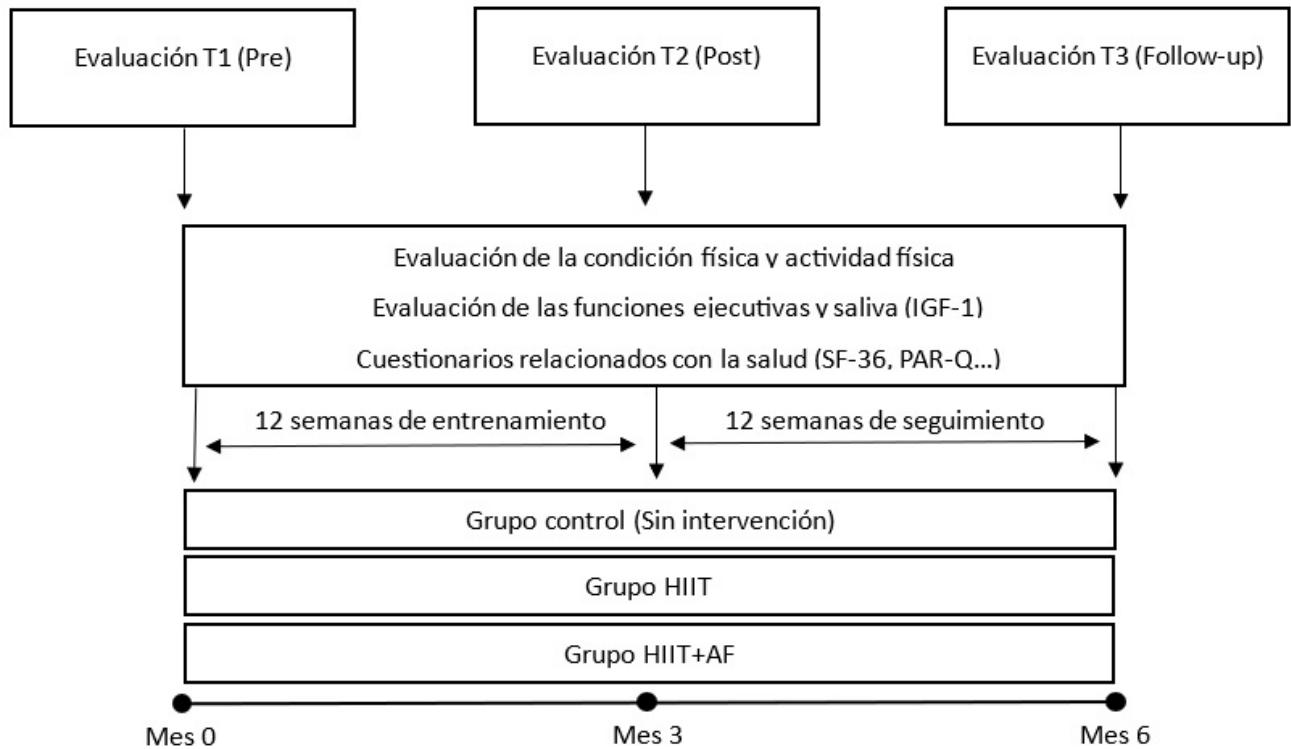
La muestra, de tipo casual o incidental, fueron distribuidas de forma aleatoria en dos grupos experimentales y un GC, evitando así el sesgo de selección. El GC continuó manteniendo su estilo de vida de forma cotidiana. Por otro lado, encontramos dos grupos experimentales, los cuales realizaron un programa HIIT con una frecuencia de 3 entrenamientos a la semana. En uno de ellos (HIIT+AF), se incidió en el incremento de su AF diaria a través de la ejecución de 10.000 pasos al día. Respecto al otro grupo experimental, (HIIT) desarrollaron el mismo programa de HIIT. En la Tabla 2 se puede observar la línea temporal según la metodología empleada en el estudio.

Una vez finalizado el proceso de selección, se les pidió a todas las participantes su consentimiento para la participación en la investigación, siendo informadas por escrito y de forma verbal de todas las características de la misma.

De esta forma y siguiendo las directrices de Helsinki (1968), así como lo estipulado en la Ley 15/1999 del 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal, se obtuvo la aprobación del Comité de Bioética de Andalucía.

**Figura 3**

Línea temporal del planteamiento del estudio



## 5.2. Muestra. Cálculo del tamaño muestral y selección.

Acorde a los objetivos y al diseño del estudio, y en aras de conformar tres grupos de sujetos, la muestra, fue distribuida de forma aleatoria en dos grupos experimentales y un GC. Todos los grupos quedaron conformados por estudiantes universitarias sanas, todas ellas mujeres, sedentarias e inactivas con voluntariedad para participar en el estudio.

Con el objetivo de mostrar resultados válidos, se calculó el tamaño de la muestra para que así los datos puedan ser extrapolables. Para ello, se tuvo en cuenta como variable principal el nivel de IGF-1 medido en saliva en respuesta al ejercicio físico intenso. Así, debido a la similitud a la muestra, se tuvo como referencia el estudio de Antonelli et al., (2007). De esta forma, el tamaño



de la muestra (por cada grupo) es de 25. Esto es para un  $\alpha=95\%$ , una potencia estadística del 90%.

Para alcanzar esta cantidad de universitarias, el reclutamiento se realizó mediante la difusión online a través de la web institucional de la Universidad de Sevilla, correos electrónicos y redes sociales. Una vez registradas todas las estudiantes con interés en la participación, se programaron diferentes sesiones informativas previas al inicio en las que se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 3). De esta forma, se obtuvo una mayor homogeneidad de la muestra y fue posible conseguir una reducción de los posibles sesgos.

**Tabla 2**

Criterios de inclusión y exclusión.

Criterio de inclusión
-Edad: 18-30 años.
-Reflejar en el cuestionario IPAQ estar en la categoría 1 o bajo nivel de AF (C. L. Craig et al., 2003) y por tanto no ajustarse a las recomendaciones mínimas de AF y ejercicio físico propuestas por la OMS.
-No padecer signos somáticos o enfermedades psiquiátricas graves que impiden la práctica de ejercicio físico.
-No acudir a terapias psicológicas en los últimos 12 meses previos al estudio. El uso de este tipo de tratamiento, puede incidir en la mejora de las capacidades cognitivas y funciones ejecutivas de la población de estudio.
-Ser capaz de comunicarse.
-Consentimiento informado: Ser capaz y estar dispuesto a dar el consentimiento informado.
Criterio de exclusión
-Disponer de una alteración cognitiva general o de las funciones ejecutivas reconocida y tratada por especialistas.

---

-Práctica de AF: A fin de seleccionar sujetos sedentarios, se excluyeron aquellas personas que realizaban práctica de AF en su tiempo de ocio de forma continuada y planificada.

-Bilingüismo: Uso habitual y de forma indistinta de dos o más idiomas. Esto puede condicionar el resultado en diversas pruebas cognitivas presentes en el estudio, debido a que se conoce que esta capacidad intelectual tiene incidencia morfológica y funcional en el cerebro.

-Instrumento musical: Tocar un instrumento musical de forma habitual y continuada, generan de igual forma que en el criterio anterior, un efecto positivo en la cognición del sujeto.

---

Nota: IPAQ: cuestionario internacional de AF; OMS: organización mundial de la salud.

### 5.3. Variables.

#### 5.3.1. *Variables independientes.*

Con el objetivo de contrastar las hipótesis planteadas anteriormente, se aplicó un programa de entrenamiento HIIT. Este método de entrenamiento consiste en alternar esfuerzos intensos con fases de recuperación.

Las sesiones de entrenamiento tuvieron una frecuencia de 3 veces por semana (lunes, miércoles y viernes) durante un periodo de 12 semanas. Los grupos de intervención se dividieron en 5 grupos, de modo que cada grupo estuvo formado aproximadamente por 10 participantes.

Los entrenamientos se llevaron a cabo de forma online, con un entrenador visualizando las acciones físicas para tener un buen control de las intensidades y poder corregir la técnica del ejercicio. Se disponía de un total de 4 entrenadores, los cuales fueron distribuidos para que todos los entrenamientos pudieran ser supervisados y controlados. Así pues, las sesiones fueron diseñadas, supervisadas, guiadas e instruidas por cualificados y profesionales de la AF y del deporte.

La supervisión y visualización de los entrenamientos se llevaron a cabo a través de diferentes plataformas online, utilizadas por los entrenadores para poder registrar los datos de RPE y frecuencia cardiaca y para poder visualizar y compartir los entrenamientos a las entrenadas.

Cada sesión englobaba una parte inicial de activación, con una duración de 10 minutos, donde se desarrollaban ejercicios de movilidad articular y activación. A continuación, durante la parte principal se desarrollaban los ejercicios a alta intensidad, dándose una progresión lineal e incremental en la duración total. La sesión finalizaba con 5 minutos de recuperación con ejercicios de estiramientos y relajación.

Antes de cada entrenamiento, las participantes debían rellenar un cuestionario (Tapia, 2017) para conocer el bienestar y fatiga acumulada previo al entrenamiento. Al final de la semana, justo tras acabar el entrenamiento cumplimentaban el cuestionario PACES (Moreno et al., 2008) para conocer el disfrute hacia la práctica del ejercicio físico.

Además, el programa de entrenamiento fue desarrollado con ejercicios de autocarga, por lo que se podían realizar las adaptaciones necesarias para poder individualizar las cargas de los entrenamientos. Además, esta intervención ha cumplido una progresión acorde a las necesidades de dicha población. Esta intervención realizó los estándares de formación del American College of Sports (ACSM, 2014).

La parte del entrenamiento centrada en el HIIT, se componía de ejercicios multiarticulares con su propio peso corporal, donde se trabajará de forma progresiva la dificultad de los ejercicios. Para ello, se han realizado adaptaciones tanto en las angulaciones de algunas articulaciones articulares en determinadas posiciones y/o movimiento, así como en la resistencia implicada en los ejercicios de mayor esfuerzo. Cada ejercicio se realizó durante 30 segundos a la intensidad planificada según cada semana (Figura 3), comenzando el programa a una intensidad del 80% de la FCmax. Tras finalizar cada esfuerzo, se intercalaba un descanso pasivo de 30 segundos de duración. A la mitad de las repeticiones totales, se tomaban 2 minutos de recuperación pasiva.

El inicio del programa comprendía acciones sencillas como por ejemplo Salto, Skipping, jumping Jack y desplazamientos frontales y laterales. Una vez que avanzaba el programa de entrenamiento se incrementó poco a poco la dificultad de la tarea, pero siendo acciones compuestas por los ejercicios realizados anteriormente; por ejemplo, sentadilla con salto, burpees y carreras con una mayor cantidad de frenadas y aceleraciones.

La frecuencia cardíaca de la sesión se midió con monitores de frecuencia cardíaca (Polar H10 Electro OY, Finland) para controlar la intensidad de las sesiones. Además, se controló el esfuerzo percibido (RPE) a través de la escala de Borg (0-10). Tanto en la mitad del entrenamiento, como al final del mismo, se registró la RPE reportada por cada sujeto. El programa de entrenamiento comenzó a una intensidad de 8 en la escala de Borg durante las primeras 3 semanas. Esta primera fase sirvió de adaptación. Una vez completada este primer periodo, se realizaron 3 semanas a intensidad de 8.5. A continuación, se incrementaba 0.5 cada dos semanas hasta lograr el esfuerzo máximas durante las dos últimas semanas. El volumen y la intensidad programada se muestra en la Figura 3.

Para maximizar la adherencia, se aplicaron varias estrategias, como la atención individualizada durante las sesiones de intervención, las llamadas telefónicas tras una inasistencia y el uso de música durante todos los entrenamientos.

Respecto al grupo HIIT+AF, realizó el mismo programa de entrenamiento, pero además cuantificaron con sus propios dispositivos (teléfonos móviles o bandas de muñeca) la cantidad de pasos totales diarios. Una vez completado el día, los pasos diarios se comunicaban a los entrenadores para tener un registro diario.

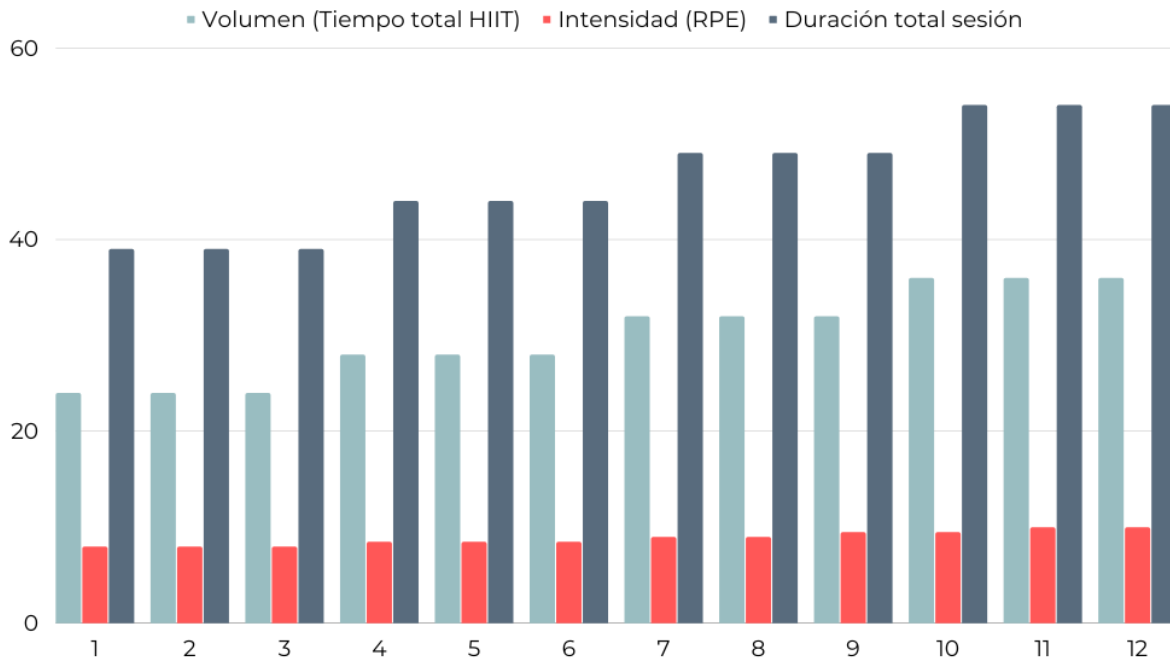
Una vez completadas las dos primeras semanas, se recomendaron varias estrategias generales para poder incrementar progresivamente el número de pasos al día hasta cumplir con las

recomendaciones mínimas de 10.000 pasos al día. Tras la observación y registro diario, en ocasiones donde no se observaba el incremento, se realizaron entrevistas individuales para intentar crear estrategias adaptadas a sus necesidades para aumentar la práctica de la AF diaria.

Por último, el GC desarrolló su estilo de vida durante el periodo de entrenamiento de igual forma que venía realizándolo habitualmente.

**Figura 3**

*Periodización del programa de entrenamiento HIIT.*



**5.3.2. Variables dependientes.**

Todas las variables que se indican a continuación fueron registradas en situación T1, T2 y T3.

**a) Determinantes bioquímicas**

Los principales determinantes bioquímicos establecidos en este estudio fueron medidos en saliva. De esta forma, se analizó la magnitud de la respuesta del IGF-1 en saliva como consecuencia de la ejecución de un programa de entrenamiento HIIT de 12 semanas. Además, se midió la respuesta aguda al esfuerzo máximo en las evaluaciones inicial y final.

La saliva se recogió en estado de ayuno (entre 8-12 horas) y se utilizó el método de babeo pasivo. En cada evaluación, se obtuvo una muestra de saliva en reposo y después de realizar un esfuerzo máximo.

Para esta obtención, se pidió a los participantes que inclinen la cabeza hacia delante y acumulen saliva. Cuando tuvieron una cantidad suficiente de saliva, se pidió que babearan en un tubo de ensayo de 10x10. Tras la recogida, las muestras se centrifugaron a 1650 xg a 4°C durante 10 minutos. Posteriormente, se alicuotaron y se almacenaron a -80°C en la hora siguiente a su recogida.

Para medir la variabilidad en cada evaluación de la concentración de IGF-1 en saliva, se utilizó el protocolo ELISA KIT.

Los niveles circulantes de IGF-1 (pg/mL) fueron determinados en saliva a través de un ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA) y realizado por duplicado. Las muestras se añadieron a los pocillos de la placa de microtitulación con el anticuerpo específico de IGF-1. A continuación se añadió a cada pocillo de la microplaca Avidina conjugada con Peroxidasa de Rábano (HRP) y se incubó. Después de añadir la solución de sustrato TMB, sólo los pocillos que contenían IGF-1, mostraron un cambio de color. Esta acción fue medida espectrofotométricamente a una longitud de onda de  $450\text{nm} \pm 10 \text{ nm}$ .

La concentración de IGF-1 en las muestras se determinaron comparando la concentración de las muestras con la curva estándar. En este caso, se emplearon kits producidos por Elabscience, con las siguientes características (Tabla 4):

**Tabla 3**

*Características técnicas de los kits ELISA de IGF-1 producidos por Elabscience.*

Detección de rango (ng/mL)	1.56-100ng/mL
Sensibilidad (ng/mL)	0.94 ng/mL
Especificidad	Este kit reconoce el IGF-1 humano en la muestra
Repetibilidad	El coeficiente de variación es <10%

Notas: ng: nanogramo; mL: mililitros; CV: Coeficiente de variación.

Antes de iniciar la medición se debió reconstituir los estándares que, posteriormente, se utilizaron en el diseño de la curva estándar necesaria para el cálculo de los resultados. Para ello, se prepararon 7 tubos con 0,5 mL de tampón diluyente y se utilizó el estándar diluido para producir una serie de dilución doble.

Tras mezclar bien cada tubo antes de la siguiente transferencia, se preparó una serie de dilución con 7 puntos (100 ng/mL, 50 ng/mL, 25 ng/mL, 12.5 ng/mL, 6.25 ng/mL, 3.13 ng/mL, 1.56 ng/mL, y el último tubo EP con tampón diluyente es el blanco a 0 ng/mL).

En el desarrollo de la medición, se utilizaron alícuotas de 100 µL por pocillo, tanto en el caso de los estándares y muestra control, como el de la saliva, descongelado previamente durante 2 horas a temperatura ambiente.

Tras una primera incubación de 1 hora a 37°, se aspiró y se lavó con 350 µL de Wash Solution en cada pocillo. A continuación, se eliminó completamente el líquido restante de todos los pocillos golpeando la placa sobre el papel absorbente. Este lavado se realizó en 3 ocasiones.

Después del último lavado, se procedió a invertir la placa y secarla sobre papel absorbente. Después se añadió 100  $\mu\text{L}$  de la solución de detección B, dejándolo incubar nuevamente durante 30 minutos a 37° después de cubrirlo con la selladora.

Posteriormente se repitió el proceso de lavado en un total de 5 ocasiones. Una vez finalizado el último lavado, se añadió 90  $\mu\text{L}$  de sustrato cromogénico en cada pocillo para provocar una tinción de la solución. De nuevo, se incubó durante 15-25 minutos a 37°C.

Por último, se le añadió 50  $\mu\text{l}$  de la solución TMB stop con la que se detuvo el proceso y se realizó la lectura de la placa a través del espectrofotómetro Biotek Synergy HT (Biotek Winooski, VT, USA), ajustando la absorción a una longitud de onda de 450nm. Para ello se usó el software Gen 5TM (Biotek Winooski, VT, USA).

#### **b) Composición corporal.**

La composición corporal fue medida a través de la toma de los perímetros de cintura y cadera y a través de la bioimpedancia eléctrica (BIA). Se trata de una técnica rápida y no invasiva en la cual se estiman diferentes variables de composición corporal. Dicha herramienta se convierte en un sistema fiable y con validez científica (J. S. Kelly & Metcalfe, 2012), aunque para su medición se debe estandarizar la situación en la que llega el sujeto. Para ello, en esta investigación, el sujeto debía seguir las siguientes directrices:

- No consumir alcohol 24 h antes de la prueba.
- No realizar ejercicio físico de alta intensidad, no tomar cafeína o cualquier otro líquido o alimento 4 h antes de la prueba.
- No realizar la prueba inmediatamente después de haberse levantado; es aconsejable realizar la prueba dos horas después de haber abandonado la cama para que los líquidos corporales se distribuyan normalmente.



- Orinar 30 minutos antes de realizar la prueba (a la llegada al laboratorio).
- No tomar diuréticos 7 días antes de la prueba.
- No portar objetos metálicos tales como joyas, relojes, etc., en el momento de realizar la prueba.

La BIA utilizada en esta investigación (Tanita BC-418, Tokio, Japón) se trata de una medición segmental. El sujeto se colocó en posición de bipedestación en 4 electrodos, ubicado en pies y manos, donde a través de dos de ellos se introduce una corriente alterna y los dos restantes recogen esta corriente midiéndose entre otros, los valores de impedancia, resistencia y reactancia corporal.

Entre todas las estimaciones realizadas por la BIA, se puede encontrar el agua corporal total, y de forma indirecta a través de la hidratación de los tejidos, se obtiene la masa libre de grasa y por derivación, la masa grasa. Por otro lado, se permite registrar la masa muscular. Todas estas mediciones fueron plasmadas tanto en su cantidad total como el equivalente en porcentaje del total. Además de estas variables, se conoció la masa, expresada en Kilogramos (Kg) y la masa ósea (kg).

Por otro lado, la circunferencia de la cintura (cm) se evaluó en el punto medio entre las costillas y la parte superior de la cresta ilíaca con el sujeto de pie (cinta antropométrica Harpenden, Holtain Ltd). De forma complementaria, se ha medido el perímetro de cadera (cm) a la altura de las caderas, concretamente a nivel de cada trocánter mayor. Como resultante de las dos mediciones anteriores, se ha podido conocer el índice de cintura-cadera. Esta medida se obtiene de la división del perímetro de la cintura de un sujeto por el perímetro de su cadera.

### **c) Condición física**

El estado de forma física de los participantes se ha evaluado mediante las siguientes pruebas.

### **Aptitud cardiorrespiratoria**

El consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) se ha estimado a partir del resultado alcanzado en la potencia máxima (MPO) en una prueba de cicloergómetro incremental (Andersen, 1995). Por tanto, para su estimación tan solo se tuvo en cuenta la MPO, siendo ésta una medida de la capacidad del sistema cardiorrespiratorio, la cual puede predecir el 80% de la variación en el  $VO_{2max}$ .

Por tanto, el cálculo del  $VO_{2max}$  se aplicó según la siguiente ecuación (Andersen, 1995):

$$VO_{2max} (l \cdot min^{-1}) = (0.0117 \times MPO) + 0.16$$

Para poder realizar correctamente la prueba, se debió estandarizar las condiciones del test. Para ello, se todas las pruebas se realizaron después de 8 horas de ayuno y previamente con 20 minutos de descanso. Además, todas las pruebas fueron realizadas en el mismo cicloergómetro (Modelo Ergoline). Esta prueba ha mostrado ser una excelente alternativa para aplicar en una población de adultos jóvenes, mostrando una alta reproducibilidad ( $r=0.95$ ) y una buena fiabilidad ( $r=0.88$ ).

El desarrollo de la prueba comienza con una primera parte de 7 minutos a una carga submáxima de 69W. Al final de esta fase se registró la frecuencia cardíaca con un pulsómetro (H10 Polar Electro OY, Finlandia). La carga se incrementó en 35 W cada 2 minutos hasta que el sujeto llegara al agotamiento.

### **Fuerza muscular de la parte inferior del cuerpo**

La fuerza muscular de la extensión de las piernas se evaluó en un dinamómetro isocinético calibrado (Biodex System 4, Biodex Medical System, Inc., Shirley, NY, USA). Por lo tanto, el sistema Biodex 4 se ha utilizado para evaluar la capacidad de cada sujeto de generar potencia

máxima isométrica con la musculatura extensora de la rodilla en una posición articular de 60° de flexión desde una posición de sedestación.

Para su medición se empleó la estación de datos clínicos de Biodex para analizar las señales de par y posición del Biodex y obtener las mediciones resultantes.

El posicionamiento de la pierna se estandarizó para cada sujeto, de forma que fue evaluado siempre en la misma posición. La posición de la cadera se mantuvo flexionada a 90° y se colocaron correas para los hombros y la pelvis en cada sujeto. Además, se estabilizó la zona del muslo y la tibia para proporcionar un mayor empuje.

El protocolo de realización consistió en ejecutar dos esfuerzos isométricos máximos durante 5 segundos. El sujeto, con los brazos cruzados sobre el pecho, comenzó a realizar la fuerza máxima a la voz de "empuje" del evaluador. Posteriormente, el sujeto descansó 30 segundos para realizar el segundo intento.

Una vez completado ambos intentos, se registró el mejor resultado de la variable pico del par (N-M) para su posterior análisis.

### **Fuerza muscular de las extremidades superiores.**

La fuerza muscular de la parte superior se evaluó a través de la prueba de dinamometría manual con un dinamómetro digital (TKK 5101 Grip-D; Takey, Tokio, Japón) como se ha descrito en otros estudios (Ruiz-Ruiz et al., 2002).

Los sujetos se encontraban en posición bípeda durante la prueba con los brazos en completa extensión y sin tocar ninguna parte del cuerpo con el dinamómetro, a excepción de la mano. La colocación del cuerpo debía estar en todo momento con la cintura escapular paralela al suelo, sin permitir hacer una flexión o movimiento lateral del tronco durante la aplicación de la fuerza. Por

otro lado, se tuvo que ajustar el agarre óptimo del dinamómetro en función del tamaño de la mano (anchura máxima entre el primer y el quinto dedo) medida en centímetros. A continuación se aplicaba el algoritmo para mujeres propuesto por Ruiz-Ruiz et al. (2002):  $y=x/5+1.5$ , donde X es la medida tomada anteriormente. El resultado fue la amplitud de agarre óptima a la que se ajustó el dinamómetro antes de realizar la prueba.

Una vez ajustado el dinamómetro, cada sujeto desarrolló el test en dos ocasiones, alternando la mano de ejecución y teniendo 1 minuto de descanso entre ambas medidas.

Se instruyó a las participantes para que apretaran el agarre del dinamómetro con la mayor fuerza posible y sin poder doblar ninguna de las articulaciones implicadas. La duración del esfuerzo fue de 5 segundos, sin poder realizar activaciones discontinuas, es decir, debían mantener la máxima fuerza isométrica posible durante los 5 segundos.

Finalmente, se registró el mejor resultado (Kg) de los dos ensayos realizados.

#### **d) AF y comportamiento sedentario.**

##### **Acelerometría**

La AF se ha evaluado objetivamente mediante acelerometría. El acelerómetro es un dispositivo que permite cuantificar objetivamente la AF realizada por una persona. En este caso, se utilizó un acelerómetro triaxial (GTX3, Pensacola, Florida, EEUU).

Se ha utilizado el software Actilife (Actigraph, V.6, Pensacola, FL). Se calculó el tiempo de AF de intensidad leve, moderada y vigorosa y el tiempo de sedentarismo. Para ello, los acelerómetros se programaron con una frecuencia de 60Hz, y un EPOCH de 15 segundos.

Se indicó a los participantes que llevaran el acelerómetro durante todo el día (24 horas). Para el análisis posterior, los sujetos debieron cumplir con al menos 4 días completos (8 horas

diarias) de porte, siendo uno de ellos un fin de semana, ya que los resultados obtenidos en 4 días de recogida de datos pueden extrapolarse a 1 semana (Trost et al., 2005).

La colocación del acelerómetro durante los días de registro en el lado derecho, a la altura de la cadera y en línea con la cara anterior de la extremidad inferior ipsilateral (Figura 4). Para evitar daños en el dispositivo, éste se retiró en cualquier situación acuática (por ejemplo, baño). En esta ocasión, se facilitó una hoja de registro para su anotación.

***Figura 4***

*Colocación y ubicación del acelerómetro.*



**Cuestionario Internacional de AF (IPAQ).**

El cuestionario IPAQ es un instrumento para determinar aproximadamente el nivel de AF que practica la población general (Hagstro et al., 2006). Este cuestionario es uno de los más utilizados para la detección del sedentarismo, usado en mayor medida en su versión corta, adaptada y traducida al castellano. Además, este cuestionario muestra una excelente fiabilidad (C. L. Craig et al., 2003) y una alta validez para su aplicación en población universitaria (J. Cancela et al., 2019).

El IPAQ en su versión corta y autoadministrada, consta de 7 preguntas, abarcando cuatro ámbitos de la AF: la relacionada con el trabajo, el transporte (caminar), las tareas domésticas/la jardinería y la actividad en el tiempo libre. El cuestionario también incluye preguntas sobre el tiempo que se pasa sentado como indicador del comportamiento sedentario. En cada uno de los cuatro ámbitos se registra el número de días a la semana y el tiempo diario dedicado a la actividad moderada y vigorosa.

Según estos resultados, los individuos pueden ser clasificados en 4 categorías. La categoría 1 o bajo nivel de AF, muestra una AF insuficiente. En la categoría 2 o moderado nivel de AF, se muestran 3 criterios para ser clasificado como activo:

- 3 o más días de AF vigorosa durante al menos 20 min por día, o
- 5 o más días de AF moderada y/o caminar un mínimo de 30 min por día o,
- 5 o más días de cualquier combinación de AF moderada y/o caminar y/o vigorosa, alcanzando un gasto energético de al menos 600 Mets·min (unidades metabólicas basales) por semana.

Por último, en la categoría 3 se engloban personas muy activas, alcanzando un gasto energético de al menos entre 1500 y 3000 Mets·min por semana.

Para el cálculo de los Mets·min por semana se utiliza el compendio de gasto energético de las diferentes actividades físicas de Ainsworth et al., (2000). Por ello, para el cálculo de los datos del IPAQ, se adoptó un promedio de Mets para cada tipo de actividad, resultando de la siguiente forma: caminar 3,3 Mets, actividades moderadas 4,0 Mets y las actividades intensas 8,0 Mets.

#### **e) Calidad del sueño**

La calidad del sueño se evaluó a través del Índice de Calidad del Sueño de Pittsburg (PSQI) (Buysse et al., 1989), que consta de 19 preguntas autoevaluadas por los sujetos.

El total de 19 ítems analizan los diferentes determinantes de la calidad del sueño, quedando agrupados en siete categorías: calidad subjetiva del sueño, latencia del sueño, duración del sueño, eficiencia habitual del sueño, alteraciones del sueño, uso de medicamentos para dormir y disfunciones diurnas. Cada componente tiene una clasificación de 0 a 3, donde 3 significa mayor alteración del sueño. Buysse et al., (1989) propone  $\geq 5$  como el punto de corte para personas que duermen mal.

Las puntuaciones de las 7 categorías, se suman para obtener una puntuación global de la calidad del sueño, oscilando por tanto entre 0 y 21 puntos, donde a medida que las puntuaciones son mayores, mayor es la alteración del sueño.

#### **f) Calidad de vida**

##### **SF-36.**

Para detectar los cambios en la calidad de vida relacionada con la salud, se ha utilizado el cuestionario SF-36. Este cuestionario, en su versión española (Vilagut et al., 2005), se centra en evaluar el estado de salud general a través de una escala genérica. Esto proporciona un perfil de calidad de vida, tanto de una población general como de subgrupos específicos.

Este cuestionario lo conforman un total de 36 preguntas que abarcan 8 conceptos de salud. Además, hay dos medidas resumen, las cuales son salud física y salud mental. La salud mental se divide en la escala de vitalidad (4 ítems), funcionamiento social (2), papel emocional (3) y salud mental (5). Por otro lado, la salud física engloba la capacidad física (10 ítems), papel físico (4), dolor corporal (2) y salud general (5). Además, se le añaden dos preguntas globales sobre la percepción de su salud.

Las puntuaciones de cada escala varían entre 0 y 100, indicando las puntuaciones mayores una mejor calidad de vida.

**g) Escala de autoestima de Rosenberg.**

La escala de autoestima de Rosenberg (1965) es el test más utilizado para la evaluación de la autoestima en el ámbito de la investigación científica y en la práctica clínica.

Dicho test es una escala de 10 ítems para analizar la autoestima global (Vázquez Morejón et al., 2004). Cada ítem se clasifica en una escala Likert de 4 puntos, donde 1 equivale a “muy en desacuerdo” y 4 a “muy de acuerdo”. De las 10 preguntas realizadas, cinco están formuladas positivamente y cinco de forma negativa (2,5,8,9,10). Además, cada pregunta mide el grado de satisfacción de la persona junto a la autovaloración de la misma.

En relación a los resultados, se ha cuestionado la naturaleza unifactorial planteada por Rosenberg, sin embargo, otros autores apoyan una estructura bifactorial de autoestima positiva y negativa. Según el estudio de validación de este trabajo en castellano (Atienza et al., 2000), se sugiere cuando la muestra es conformada por mujeres, la elaboración de un único factor de autoestima global.

Por ello, respecto a los resultados y teniendo presente tan solo la puntuación global, una puntuación más alta muestra una mayor autoestima, teniendo un rango de puntuación máximo de 40 puntos y un mínimo de 10.

**h) Salud mental y cognición general**

**Escala de valoración de Hamilton para la evaluación de la depresión (HDRS).**

La HDRS (Hamilton, 1960) es una escala para evaluar la depresión. Es heteroaplicable y está diseñada con el objetivo de evaluar cuantitativamente el grado de depresión del sujeto entrevistado.



La versión original consta de 21 preguntas, pero en esta ocasión se utilizó la versión reducida (Hamilton, 1967) publicada posteriormente. Esta versión consta de 17 preguntas, la cual es la recomendada para su uso clínico. La versión corta de HDRS ha sido validada en la versión castellano (Ramos-Brieva & Cordero Villafáfila, 1986) mostrando una alta fiabilidad y sensibilidad al cambio en diferentes poblaciones (Ramos-Brieva & Cordero-Villafafila, 1988).

Cada pregunta tiene entre tres y cinco respuestas posibles, con una puntuación de 0-2 o 0-4 respectivamente, con una puntuación máxima de 52 puntos y una mínima de 0 (Bobes et al., 2003). Los puntos de corte más utilizados a la hora de clasificar un cuadro depresivo son los siguientes: no deprimido (0-7), depresión ligera (8-13), depresión moderada (14-18), depresión severa (19-22) y depresión muy severa (>23) (Middleton et al., 2005).

### **Beck Depression Inventory (BDI-II)**

El Beck-II (A.T Beck & Steer, 1993) se utiliza para medir la sintomatología depresiva, tanto en pacientes con trastornos psicológicos como en la población sin patología. Es un instrumento autoaplicado que consta de 21 ítems que valoran aspectos cognitivos, afectivos y factores neurovegetativos. Este cuestionario suele ser el más utilizado en psicología clínica para evaluar el grado de depresión (Sanz et al., 2003).

Este cuestionario ha sido validado en la versión castellano (Sanz et al., 2005) y además se ha visto una alta fiabilidad en una población universitaria (Sprinkle et al., 2002). Cada ítem dispone de cuatro respuestas, ordenadas de menor a mayor gravedad (de 0 a 3 puntos), y el sujeto debe escoger la oración que más se ajuste a su percepción durante la última semana. Las puntuaciones de este instrumento varían de 0-63, siendo los puntos de cortes de referencia los siguientes: 0-9 ausencia de depresión; 10-15 depresión leve; 16-19 depresión moderada; 20-29 depresión moderada-severa; 30-63 depresión severa.

### **Cuestionario de Perfil de Estados de Ánimo (POMS).**

El cuestionario POMS (McNair et al., 1992) es habitualmente aplicado en el ámbito clínico para conocer el estado de ánimo, aunque también es utilizado en otros ámbitos, como el deportivo.

Este cuestionario ha mostrado altos niveles de fiabilidad y validez (McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, 1992), pudiéndose realizar en una versión breve o larga. En esta ocasión, se aplicó la versión larga. El cuestionario está compuesto por una lista de adjetivos multidimensionales, donde se midieron 7 estados de ánimo (depresión/melancolía, tensión/ansiedad, vigor/actitud, odio/hostilidad/enfado, fatiga/inercia y confusión/desaliento) (McVeigh et al., 2016).

### **Minimental State examination (MMSE)**

El estado cognitivo global se evaluó mediante la prueba MMSE (Folstein et al., 1975). Se trata de una prueba breve y rápida de aplicar y se utiliza frecuentemente para diagnosticar el grado de deterioro cognitivo. En esta prueba se restringe el rendimiento cognitivo y excluye los trastornos emocionales y conductuales a través de una prueba estandarizada de corta duración. Esto lo convierte en una herramienta de bajo coste y puede ser aplicado por cualquier profesional con un mínimo de conocimientos y formación para su desarrollo.

A pesar de la brevedad en su aplicación, existen diversos factores que inciden en su puntuación final, ya que la ésta queda influenciada por las variables sociodemográficos del sujeto, como la edad, la cultura y la educación (5-7).

El MMSE investiga cinco dominios cognitivos, los cuales son: la orientación espaciotemporal y memoria diferida, atención y cálculo, lenguaje y la capacidad visuoconstructiva de dibujo. A través de estos dominios, se puede conseguir un máximo de 30 puntos.

Convencionalmente, se ha establecido la puntuación de 23/24 puntos como punto de corte, aun así, se pueden encontrar varias versiones del MMSE, las cuales incluyen 30, 35 o 37 preguntas. Esto dificulta la comparación de los resultados antes poblaciones con características similares. Aun así, la prueba escogida en este estudio, MMSE-30, ha sido validada con una alta fiabilidad para su aplicación en nuestro país (Llamas-velasco et al., 2015).

### **i) Funciones ejecutivas**

Las mediciones de las siguientes pruebas cognitivas fueron realizadas con la colaboración de un psicólogo especialista en la ejecución y descripción de las siguientes pruebas ejecutivas:

#### **Test de Stroop (ST)**

Para la evaluación del control inhibitorio, se utilizó el ST (Golden, 1999). Se trata de una prueba neuropsicológica que permite medir la interferencia generada en la realización de una tarea. En este trabajo se desarrolló la versión Victoria de forma digitalizada (Mueller et al., 2012).

Se trata de una prueba de corta duración y consta de 3 partes (cada una de 24 estímulos) (Charchat-fichman & Oliveira, 2009). En la primera parte (D), el participante debe pulsar los botones adecuados que indican el color (azul, rojo, amarillo y verde) de los círculos presentados en el monitor. En la segunda fase (W), debe pulsar el botón correspondiente al color de la tinta con la que se escribe la palabra, que es diferente del nombre del color y no genera ningún efecto de interferencia. Finalmente, aparecerá una lista de palabras que significan colores, pero escritas con un color diferente al que se refiere la palabra. Deben seleccionar el color de la tinta, no el significado de la palabra (C). Esta es la fase en la que se produce la interferencia. Además, aquí el participante debe inhibir la tendencia a la respuesta automática.

En esta prueba se medirán las variables tiempo y el número de errores de intrusión (C) debidos a fallos de control inhibitorio. Además, en relación a estos dos resultados, se tendrá en cuenta la interferencia creada, la cual será la diferencia entre C y D.

El primer tipo de errores consiste en respuestas fallidas. En este caso, no hay conciencia de la certeza de la respuesta (sin presencia de intrusión), por ejemplo, un estímulo de un determinado color es pulsado erróneamente. A esto lo vamos a conocer como el error de impulsividad. El segundo tipo de errores se caracteriza por fallos de control inhibitorio, que se observan exclusivamente en la tercera fase de la tarea, ya que, a diferencia de las dos fases anteriores, el participante pulsa la opción del contenido textual de la palabra, y no el color. Esto se produce porque no inhibió la tendencia automática a la lectura. Cada respuesta de este tipo se consideró un error de intrusión.

El ST ha mostrado ser una herramienta válida y fiable para su aplicación en una población general (Golden, 1999).

### **Test de tarjetas de Wisconsin (WCST)**

Esta prueba se encarga de evaluar, principalmente la flexibilidad cognitiva (Cepeda et al., 2000). Se puede realizar en forma tradicional o como en esta ocasión, de forma digital.

Esta prueba consta de un total de 64 tarjetas. Las tarjetas presentan diferentes combinaciones según 4 formas geométricas, 4 colores y 4 cantidades.

La tarea comienza con la explicación inicial por parte del psicólogo de las diferentes opciones de agrupación posibles. El sujeto observaba en la pantalla el tipo de cartas que tuvo que tener presente posteriormente para su agrupación.

Al comienzo, el sujeto disponía de 4 tarjetas de referencia, alineadas estas frente a la persona evaluada. A la derecha aparecía una imagen que simulaba un mazo con las cartas restantes colocadas boca abajo. El sujeto, con la ayuda del ratón, debía colocar cada tarjeta de respuesta frente a una de las 4 tarjetas de referencia donde ella creía que debía ir, según la lógica inicial aplicada por el programa informático. Tras colocar la carta, le aparecía si es “correcto” o “incorrecto”, pero no dónde debería ir ubicada.

El objetivo es obtener el mayor número de respuestas correctas posibles. Al principio, por ejemplo, las cartas debían colocarse según el color. Cuando el sujeto consigue 10 aciertos seguidos, se alcanza una categoría y se cambia de categoría, por ejemplo, cantidad, sin previo aviso.

Las principales variables derivadas de la versión digital son:

Número de respuestas correctas y número de categorías correctas identificadas, respuestas perseverativas (número de tarjetas que el sujeto ordena bajo una categoría correcta anterior, a pesar de la retroalimentación negativa del experimentador), fallos de mantenimiento del set (Si el sujeto está ordenando por ejemplo según “color”, y se olvida de esta categoría y cambia la organización a otra, por ejemplo “cantidad”), errores perseverativos (Si finaliza la categoría al colocar las 10 cartas correctamente, y el sujeto sigue colocando cartas según la categoría anterior), error no perseverativos (aquellos errores no correspondientes a los dos anteriores) y número total de errores, error único y cartas empleadas hasta completar la 1º categoría.

Esta prueba ejecutiva ha sido investigada mostrando una alta fiabilidad y validez interna para la medición de la flexibilidad cognitiva (Del Valle-del valle et al., 2008).

### **Digit Span Test (DST)**

El Digit Span Test es una subprueba de la Escala de Inteligencia para Adultos de Wechsler (Wechsler, 1949) que analiza la capacidad de almacenar y retener información, cuya misión es medir la memoria de trabajo. La prueba consta de dos medidas: a) forward o directo; consiste en retener dígitos directos, es decir, se le dirá al sujeto series de dígitos incrementales presentados oralmente, y éste deberá repetirlo en el mismo orden, y b) backward o inverso; consiste en retener dígitos de forma inversa, en la que deberán repetir una secuencia de series incrementales de dígitos en orden inverso al escuchado.

En ambos casos, la secuencia comenzará con la retención la primera serie de longitud 3 (3 dígitos), que serán nombrados de forma oral por el examinador a razón de uno por segundo. Si el participante logra recordar correctamente la secuencia, se procede a la segunda serie de 3 dígitos. Si ésta es contestada correctamente, se procederá a la primera serie con longitud 4 y así sucesivamente hasta que el sujeto cometa dos errores consecutivos en la misma secuencia de dígitos.

El resultado en cada una de las pruebas (forward y backward) corresponde al número de dígitos alcanzados de última serie lograda sin cometer error, ya sea en el primer o segundo intento. Por tanto, la prueba DST ofrece los siguientes resultados: a) número de palabras correctas en el orden directo (DST-D), b) número de palabras correctas en el orden inverso (DST-I) y el sumatorio de DST-D y DST-I (DST-T).

A continuación, en la Tabla 5 se puede observar el resumen de las variables dependientes relacionadas a la evaluación de las funciones ejecutivas a través de pruebas funcionales con su correspondiente nomenclatura:

**Tabla 4***Resumen de variables en relación a las funciones ejecutivas.*

Stroop test (ST)	Nomenclatura
Tiempo interferencia	ST-I-T
Nº aciertos interferencia	ST-I
Wisconsin Card test (WCST)	
Nº categorías correctas	WCST-C
Nº aciertos	WCST-A
Error perseverativo	WCST-E-P
Digit Span Test (DST)	
Memoria Directa	DST-D
Memoria indirecta	DST-I
Total aciertos (Directo+Indirecto)	DST-T

## 5.4. Procedimiento

### 5.4.1. Evaluación Inicial.

Las mujeres fueron citadas en 2 días para completar todas las medidas del protocolo. Las evaluaciones se realizarán en el Laboratorio de Ejercicio de la Universidad de Sevilla.

Inicialmente se completaron cuestionarios online que incluyen la calidad de vida relacionada con la salud de vida (SF-36), datos sociodemográficos, AF (IPAQ), sintomatología depresiva (Beck-II), sueño (Pittsburg), autoconcepto (AF-5) y autoestima (Rosenberg).

El segundo día las chicas acudieron al laboratorio en estado de ayuno. Comenzaron con la evaluación de la altura y la composición corporal. Para ello, el día previo las chicas siguieron el protocolo descrito anteriormente. De esta forma se consiguió una evaluación más precisa de la composición corporal.

Posteriormente, se realizó un calentamiento en cicloergómetro a 50W durante 5 minutos. A continuación, se medirá la fuerza isométrica en los miembros inferiores a través de la extensión del cuádriceps en el dinamómetro isocinético. Tras esta evaluación, se midió la fuerza isométrica de los miembros superiores a través del agarre manual.

Tras la medición de la fuerza, se estuvo durante 5 minutos en posición sentada para restablecer el estado de reposo. Posteriormente, se les pidió que vertieran la saliva en un tubo de propileno esterilizado (5 ml). A continuación, se midieron las funciones ejecutivas mediante el ST, WCST y DST.

A continuación, se evaluó a aptitud cardiorrespiratoria mediante la prueba de ejercicio incremental en cicloergómetro según el protocolo indicado. Cuando la mujer manifestó que no podía continuar con la prueba, se detuvo la prueba y seguidamente se repitió la medición de las funciones ejecutivas, con una duración aproximada entre 12-15 minutos. A continuación, se repitió la extracción de saliva.

Finalmente, una vez instruidas sobre el uso del acelerómetro, éste fue entregado y lo llevaron durante 7 días consecutivos. Tras estos días, se recogió el acelerómetro y se procedió a la descarga de los datos y almacenamiento de los mismos para su posterior análisis.

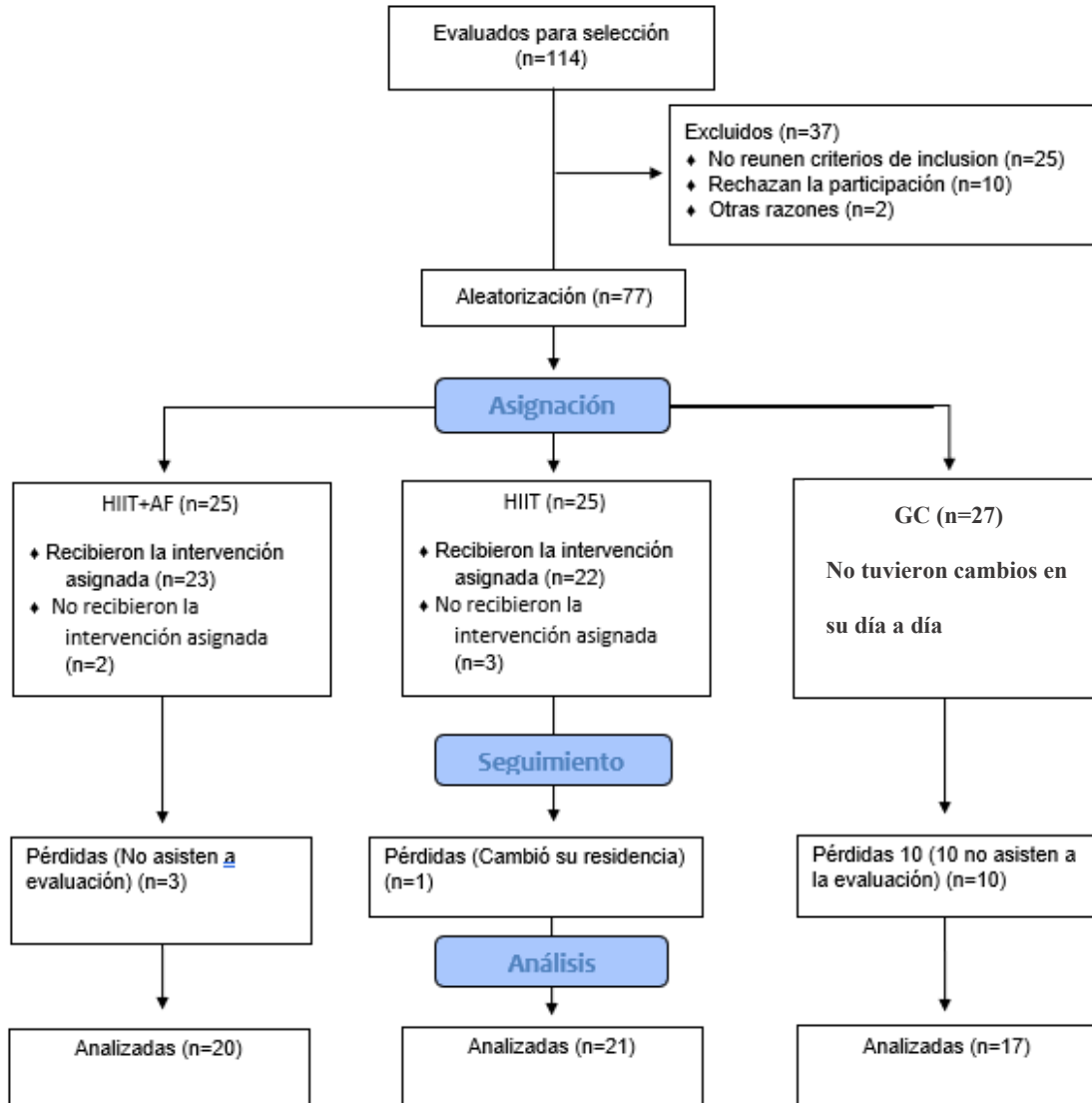
#### **5.4.2. *Periodo de intervención.***

A continuación, en la Figura 5 se muestra un resumen a través de un diagrama de flujo, de las diferentes fases de evaluación llevadas a cabo:



**Figura 5**

*Diagrama de flujo que representa diferentes etapas en el proceso de investigación.*



**5.5. Análisis estadístico de los datos.**

Una vez obtenidos los datos en los tres grupos de la investigación (HIIT, HIIT+AF y GC) se compararon al inicio, tras las 12 semanas de intervención y pasados 3 meses del fin del programa de entrenamiento. Se obtuvieron tablas de frecuencia para las variables sociodemográficas y medias y desviaciones típicas para las variables cuantitativas. A continuación, para ver las

diferencias intergrupales en variables paramétricas, se aplicó una ANOVA de un factor con 3 niveles. En el caso de existir diferencias en la media entre grupos, se aplicó la prueba de rango post hoc, concretamente la prueba estadística de Bonferroni, con el fin de identificar el grupo donde se establecen las diferencias encontradas. En el caso de que las varianzas no sean iguales, se empleó la prueba T3 Dunnet. Para aquellas variables que no cumplieran con la hipótesis de normalidad, se procedió a ejecutar la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. En el caso de asumir las diferencias, se aplicó la prueba de Mann-Whitney para evaluar las diferencias entre grupos.

La comparación intragrupos fue medida para contrastar las diferencias entre los grupos tras la intervención. Así, para aquellas variables que cumplan con la normalidad, se les aplicó la prueba ANOVA medidas repetidas, y para aquellas que no lo cumplieran la hipótesis de normalidad, se le aplicó las pruebas de Friedman y de los rangos con signo de Wilcoxon. Por último, se llevaron a cabo análisis de correlación entre las distintas variables utilizando para ello el método de Pearson o  $\rho$  de Spearman. Para observar el tamaño del efecto siempre que fuera posible, se calculó el tamaño del efecto, aplicando el estadístico  $r$ . Para el análisis de este resultado se siguieron los criterios propuestos por Cohen (1988). Se desarrollaron diversos análisis de correlación entre las distintas variables a través de la Rho de Spearman. Todos los datos fueron tratados con el programa estadístico SPSS v.26 estableciéndose un intervalo de confianza del 95%, estimándose un nivel de significancia de  $p$  igual o menor de 0.05.

# RESULTADOS

---

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Características generales de la muestra.

Una vez seleccionada la muestra, ésta estaba conformada por un total de 77 sujetos (HIIT+AF, n=25; HIIT, n=25; GC, n= 27). Tras desarrollar el todo el periodo de entrenamiento y de *Follow-up*, debido al abandono en algún momento de la investigación, la muestra final analizada fue de 58 mujeres (HIIT+AF, n=20; HIIT, n=21; GC, n=17). Para el cálculo muestral, se incluyó como variable principal la respuesta de IGF-1 ante el ejercicio físico intenso. Así., utilizando los datos del estudio de Antonelli et al. (2009), quienes estudiaron las respuestas de IGF-1 al ejercicio, el tamaño de la muestra (por cada grupo) es de 37. Esto es para un alfa=95%, una potencia estadística del 80% y una precisión (d) de 5.23.

En la Tabla 6 se puede observar el resumen de las variables sociodemográficas de la muestra que completó todo el proceso de investigación (n=58).

**Tabla 5**

*Datos socioeconómicos de la muestra participante en el estudio según clasificación y expresado en porcentaje equivalente (%).*

		HIIT (N=20)		HIIT+AF (N=21)		GC (N=17)	
		N	%	N	%	N	%
Estado civil	Soltera	18	90	21	100	10	62.5
	En pareja	2	10			6	37.5
Situación laboral	No trabaja	18	90	19	90.6	13	76.4
	En activo	2	10	2	9.5	4	23.6
Entorno	Rural	2	10	5	23.8	4	23.5
	Urbano	18	90	16	76.2	13	76.5

Convivencia	Compañero de piso	5	25	3	14.3	2	11.8
	Pareja	1	5				
	Padres	14	70	18	85.7	15	88.2
Horario estudio	Mañana	11	55	8	30.1	8	47
	Tarde	9	45	13	61.9	9	53
Fumar	De 1 a 4/ semana	3	15	2	9.5	5	29.4
	De 5 a 15/semana			1	4.4	2	11.8
	No fuma	17	85	18	85.7	10	58.8
Consumo alcohol	1 vez/semana	6	30	7	18.2	4	23.5
	No más de la recomendada	2	10	8	18.2	5	29.4
	No consume	7	35	6	22.7	8	47.1

Por otra parte, podemos observar las medidas descriptivas de las variables de composición corporal (Tabla 7), condición física (Tabla 8), hábitos de práctica de AF (Tabla 9) y calidad de vida (Tabla 10) observadas al inicio del estudio.

En la Tabla 7 se puede observar el resumen de las características físicas de dicha muestra atendiendo a los dos grupos de intervención y GC al inicio de la evaluación.

### Tabla 7

*Composición corporal de la muestra participante en el estudio (n=58).*

	HIIT (Sd)	HIIT+AF (Sd)	GC (Sd)	<i>p</i>
Altura (cm)	163.9 (4.6)	161.2 (5.8)	161.1 (5.2)	0.17
Peso corporal (Kg)	61.95 (15.3)	58.59 (9.6)	62.52 (8.6)	0.52
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	23.14 (6.0)	22.43 (2.6)	24.04 (2.6)	0.5
% Masa grasa	30.22 (8.9)	30.27 (6.4)	31.78 (5.5)	0.76
% Masa muscular	66.37 (8.5)	66.27 (6.2)	64.80 (5.2)	0.74
Perímetro de cintura (cm)	86.58 (12.1)	85.91 (10.7)	81.72 (9.0)	0.35

Notas: IMC: índice de masa corporal; Kg: kilogramos; m: metros; Sd: desviación estándar. Prueba

ANOVA de un factor.

La siguiente Tabla (Tabla 8) muestra los valores iniciales correspondientes a la condición física.

**Tabla 8**

*Condición física de los sujetos participantes en la investigación (n=58).*

	HIIT (sd)	HIIT+AF (sd)	GC (sd)	<i>p</i>
Dinamometría derecha (Kg)	23.9 (4.1)	22.6 (5.2)	26.2 (3.6)	0.146
Dinamometría izquierda (Kg)	25.0 (4.1)	23.2 (5.8)	26.3 (3.3)	0.124
Dinamometría manual total (de+izq)	48.8 (7.8)	45.7 (10.3)	51.7 (6.3)	0.104
Torque isométrico pico pierna derecha (N-m)	125.7 (23.9)	122.3 (25.0)	130.3 (26.1)	0.623
Torque isométrico pico pierna izquierda (N-m)	111.4 (29.8)	112.3 (25.8)	122.6 (23.8)	0.380
VO <sub>2</sub> max (L*min-1)	2.2 (0.3)	2.2 (5.0)	2.4 (4.7)	0.403

Notas: Kg: Kilogramos; N-m: Newton-metro; sd: desviación estándar. Prueba ANOVA de un factor

**Tabla 9**

*Hábitos de práctica de AF de los sujetos (n=58).*

		HIIT (sd)	HIIT+AF (sd)	GC (sd)	<i>p</i>
Nivel de práctica de AF (IPAQ; total MET/min/sem)	Vigorosa	40 (62.0)	48 (98.5)	28.2 (79.7)	0.805
	Moderada	173.3 (180.5)	90 (177.9)	72.6 (94.3)	0.152
	Ligera	831 (446.0)	728 (443.0)	1159 (856.0)	0.250
	Total	1044 (485.0)	866 (539.0)	1265 (879.0)	0.452

Notas: IPAQ: International Physical Activity Questionnaire; MET: equivalente metabólico; Min: minuto; sem: semana; sd: desviación estándar. Prueba ANOVA de un factor.

**Tabla 10**

*Calidad de vida de la muestra evaluada a través del cuestionario SF-36 (n=58).*

	HIIT (sd)	HIIT+AF (sd)	GC (sd)	<i>p</i>
Función física	96.0 (5.0)	96.2 (4.1)	94.7 (8.5)	0.928
Rol físico	100.0 (0.0)	95.2 (10.0)	100.0 (0.0)	0.024*
Dolor corporal	78.4 (22.0)	86.3 (20.9)	84.7 (18.1)	0.261
Salud general	66.5 (11.7)	64.8 (14.3)	70.6 (14.1)	0.444
Vitalidad	61.0 (10.2)	61.9 (15.9)	58.2 (17.3)	0.664
Función social	97.5 (4.4)	84.0 (19.6)	85.9 (19.4)	0.145
Rol emocional	71.7 (36.3)	50.8 (44.2)	60.8 (46.0)	0.388
Salud mental	65.3 (10.9)	64.8 (14.3)	70.6 (14.1)	0.399

Notas: sd: desviación estándar. \*Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (prueba ANOVA de un factor).

Centrándonos en la variable principal de estudio, en la Tabla 11 se pueden observar los valores de concentración de IGF-1 tanto en estado de reposo como tras realizar un esfuerzo máximo. Al igual que en caso anterior, ambas mediciones corresponden a las mediciones anteriores.

**Tabla 11**

*Concentración de IGF-1 en la población estudiada tanto en estado basal (pre esfuerzo), como tras realizar un esfuerzo máximo (post esfuerzo) durante T1.*

	HIIT	HIIT+AF	GC	<i>p</i>
	Media (sd)	Media (sd)	Media (sd)	
Pre Esfuerzo ( $\mu\text{g/L}$ )	1.15 (0.3)	1.16 (0.1)	1.11 (0.1)	0.336
Post Esfuerzo ( $\mu\text{g/L}$ )	1.11 (0.1)	1.23 (1.6)	1.33 (0.85)	0.263

Notas: sd: Desviación estándar.

A continuación, se pueden observar los valores iniciales en las pruebas de evaluación de las funciones ejecutivas (ST, WCST y DST).

**Tabla 6**

*Funciones ejecutivas de la población estudiada en las pruebas de Stroop test. Wisconsin Card test y Digit Span test.*

	HIIT (sd)	HIIT+AF (sd)	GC (sd)	<i>p</i>
ST				
ST-I-T (s)	37.5 (16.0)	33.3 (10.8)	38.4 (12.2)	0.39
ST-I-A (Nº de aciertos)	28.0 (4.5)	26.6 (3.5)	26.2 (2.9)	0.31
WCST				
WCST-C	3.9 (0.6)	3.8 (0.9)	3.7 (1.0)	0.93
WCST-A	49.3 (3.6)	50.9 (3.7)	51.9 (3.3)	0.74
WCST-E-P	6.8 (1.4)	6.3 (2.5)	8.1 (3.8)	0.60
DST				
DST-D	5.8 (1.3)	6.1 (1.3)	5.9 (0.8)	0.91
DST-I	4.5 (1.2)	5.5 (1.3)	4.3 (1.4)	0.02*
DST-T	10.3 (2.0)	11.6 (1.9)	10.47 (2.0)	0.10

Notas: DST: Digit Span test; DST-D: directo; DST-I: Indirecto; DST-T: Total (directo+indirecto); s:

segundos; *sd*: desviación estándar; *ST*: Stroop test; *ST-I-T*: Tiempo total; *ST-I-A*: Número de aciertos;

*WCST*; Wisconsin Card test; *WCST-C*: Categorías completadas; *WCST-A*: Aciertos; *WCST-E-P*: Errores

*persistentes*. \*Diferencia significativa ( $p < 0.05$ ) (prueba ANOVA de un factor).

## 6.2. Efectos del programa de entrenamiento HIIT.

En aras de explicar verazmente el efecto del programa HIIT en las distintas variables de estudio, es necesario considerar la adherencia a dicho programa. Como se aprecia en la Figura 5, cinco personas no completaron el programa de entrenamiento, perteneciendo dos al grupo HIIT y tres al grupo HIIT+AF. En el grupo CON a pesar de no desarrollar ningún tipo de entrenamiento ni cambio en su estilo de vida, nueve mujeres no pudieron ser evaluadas tras el periodo de entrenamiento.

Y en relación a la asistencia a los entrenamientos programados, los dos grupos alcanzaron un 94% de asistencia, acudiendo todos los sujetos a más de un 80% de los entrenamientos

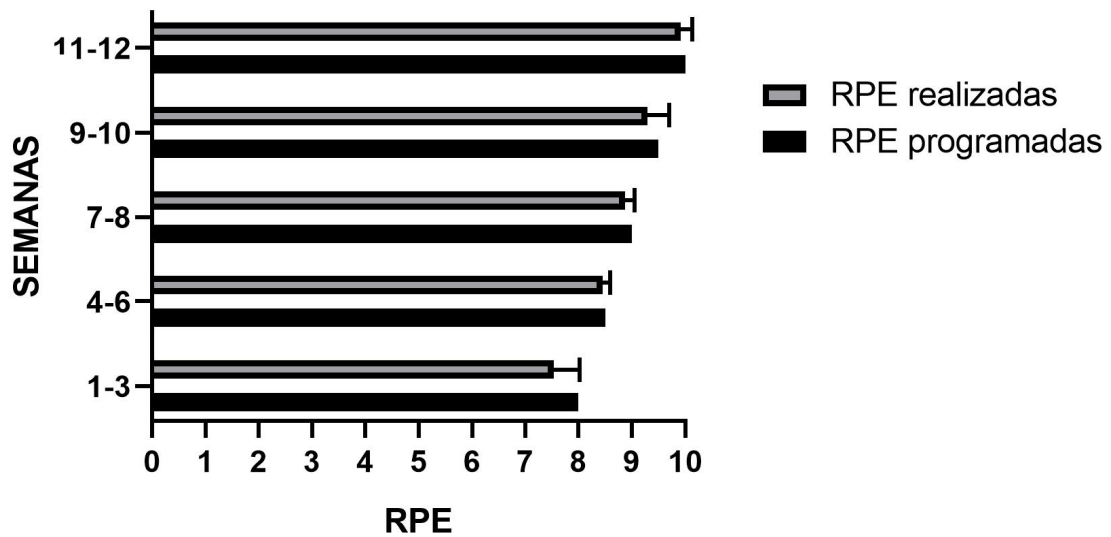


planificados. Respecto al grupo HIIT, hubo un 93.5% de asistencia y un 97% en el grupo HIIT+AF, mostrando ambos grupos una alta adherencia al programa de entrenamiento.

Además de la asistencia, es importante comprobar la intensidad desarrollada durante los entrenamientos. Por ello, en la figura 6 se observa la intensidad programada a través de la RPE y la realizada durante las diferentes semanas de entrenamiento.

**Figura 6**

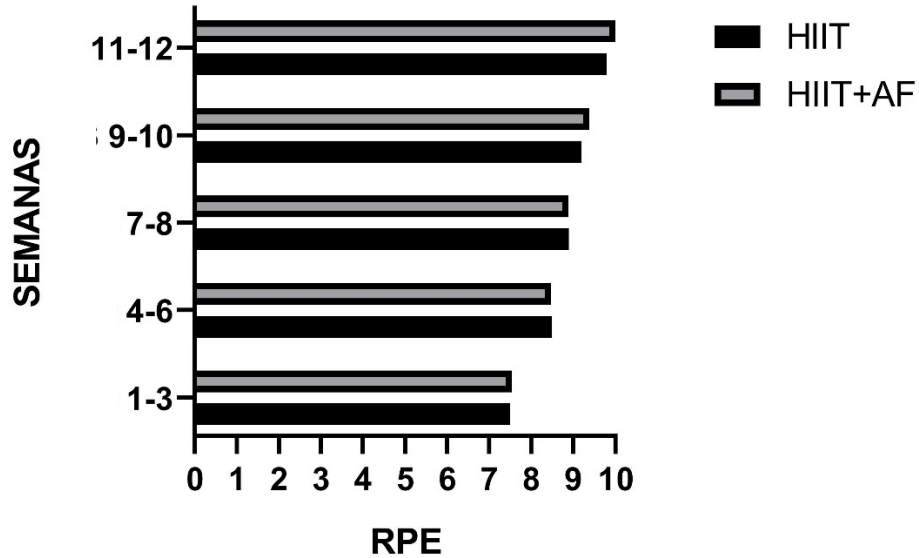
*Distribución de la intensidad planificada y la intensidad desarrollada (RPE; esfuerzo percibido) a lo largo de las diferentes semanas del programa HIIT.*



A continuación, en la Figura 7 se diferencia la intensidad desarrollada según el grupo de entrenamiento, encontrando valores muy similares entre ellos en cada una de las fases programadas.

**Figura 7**

*Intensidad realizada según cada grupo de entrenamiento.*



Tras finalizar el periodo de *Follow-up*, entre todas las mujeres que comenzaron en algún grupo HIIT, se pudo evaluar a un 82% de la muestra total, de modo que 9 sujetos no pudieron completar todo el planteamiento realizado en esta investigación. En el grupo CON se observó una pérdida total de 10 personas durante toda la investigación. Por tanto, se pudo evaluar al 72,3% de toda la población inicial. De esta forma, teniendo en cuenta a las 77 mujeres que conformaban inicialmente la población total, se pudo evaluar al 75.3%.

A continuación, se indican los principales resultados dados en cada una de las variables una vez completadas las 12 semanas de entrenamiento y en el periodo de *Follow-up*.

## 6.2.1. Cambios en IGF-1.

**Tabla 7**

Concentración de IGF-1 en saliva en situaciones de Pre y Post esfuerzo en los tres momentos de evaluación T1, T2 y T3 (n=58). sd: desviación estándar.

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	$\eta^2$ parcial	P valor grupo	$\eta^2$ parcial	P valor grupo*tiempo	$\eta^2$ parcial
		Media (sd)		Media (sd)		Media (sd)							
IGF-1 Pre-esfuerzo (ng/ml)	HIIT	1.1	(0.3)	1.5 <sup>†§</sup>	(0.3)	2.4 <sup>‡</sup>	(2.4)	0.001*	0.23	0.845	0.01	0.817	0.01
	HIIT+A	1.2	(0.1)	1.5 <sup>†§</sup>	(0.5)	2.5 <sup>‡§</sup>	(2.0)						
	F												
	GC	1.1	(0.1)	1.6 <sup>†</sup>	(0.5)	2.0	(1.3)						
IGF-1 Post- esfuerzo (ng/ml)	HIIT	1.1	(0.1)	1.9	(2.2)	2.4 <sup>§</sup>	(2.1)	0.002*	0.11	0.985	0.01	0.883	0.01
	HIIT+A	1.2	(0.5)	2.0	(1.9)	2.1 <sup>§</sup>	(1.3)						
	F												
	GC	1.3	(0.8)	1.9	(1.1)	2.0	(1.5)						

Ng: nanogramo; Notas: sd: desviación estándar; ml: mililitro

\*Diferencias significativas (P<0.05)

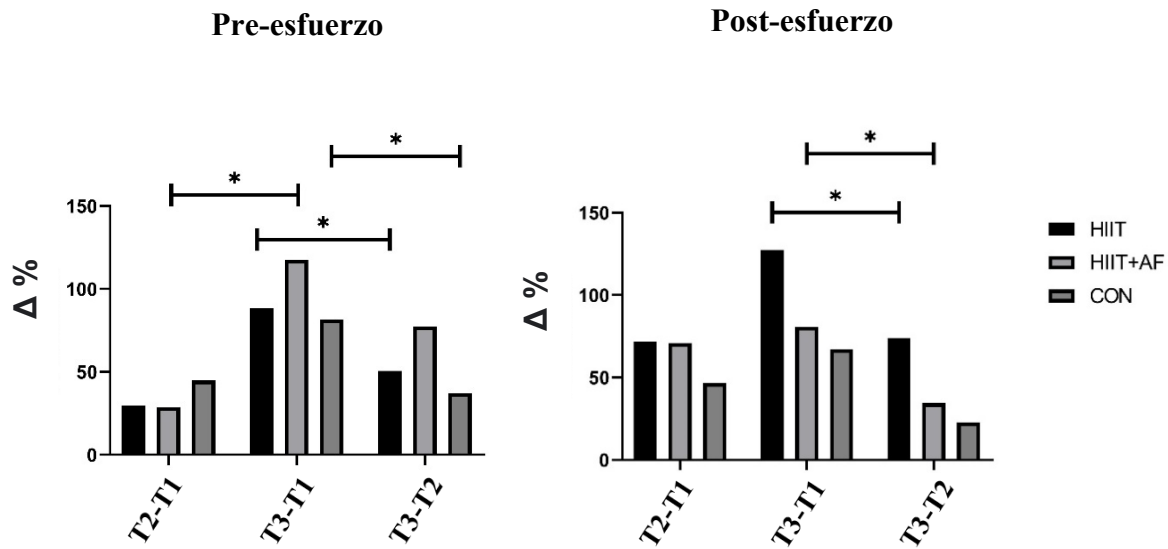
<sup>†</sup>Diferencias significativas entre T1 y T2

<sup>‡</sup>Diferencias significativas entre T1 y T3

<sup>§</sup>Diferencias significativas entre T2 y T3

**Figura 8**

*Deltas porcentuales en IGF-1 pre y post esfuerzo en comparación con los diferentes momentos de evaluación.*



### 6.2.2. Cambios en las funciones ejecutivas.

Tal y como se ha descrito anteriormente, el efecto de las diferentes intervenciones sobre las funciones ejecutivas se evaluó a través de varias pruebas (ST, WCST y DST) tanto en estado de reposo como tras realizar un esfuerzo máximo. Todas estas pruebas se realizaron en la evaluación inicial (T1), tras finalizar el programa de entrenamiento (T2) y transcurridos tres meses tras finalizar la intervención (T3).

Los cambios dados en el control inhibitorio a través de la prueba ST, se puede observar en la Tabla 14.

**Tabla 8**

*Diferencias entre las diferentes fases y grupos en el ST en los momentos T1, T2 y T3.*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	$\eta^2$ parcial	P valor grupo	$\eta^2$ parcial	P valor grupo*tiempo	$\eta^2$ parcial
		Media (sd)		Media (sd)		Media (sd)							
<b>Pre-esfuerzo</b>													
ST- I -T (s)	HIIT	37.5 <sup>†‡</sup>	(16.0)	29.8	(7.45)	29.7	(7.6)	<.001*	.208	.387	.034	.542	.027
	HIIT+AF	33.5 <sup>†</sup>	(11.1)	28.4	(10.1)	28.9	(11.6)						
	GC	37.9 <sup>‡</sup>	(12.0)	34.5	(11.3)	31.2	(8.3)						
ST- I -A (nº aciertos)	HIIT	28.1 <sup>‡</sup>	(4.5)	27.0 <sup>§</sup>	(2.8)	26.2	(1.8)	.520	.012	.280	.045	.138	.061
	HIIT+AF	26.8	(3.6)	27.5	(3.0)	27	(3.5)						
	GC	26.1	(2.9)	25.6	(1.6)	26.2	(1.6)						
<b>Post-esfuerzo</b>													
ST- I -T (s)	HIIT	36.9	(12.7)	27.7	(6.4)	28.7	(10.6)	<.020*	.069	.401	.018	.854	.012
	HIIT+AF	32.3	(10.3)	29.5	(7.9)	28.8	(7.1)						
	GC	38.1	(10.8)	32.2	(11.0)	32.4	(13.6)						
ST- I -A (nº aciertos)	HIIT	27.8 <sup>†‡</sup>	(3.4)	26.4	(2.3)	26.4	(2.7)	.001*	.209	.338	.039	.300	.043
	HIIT+AF	28.1	(5.0)	27.5	(2.8)	27.3	(4.0)						
	GC	27.4 <sup>†‡</sup>	(3.1)	26.2	(3.2)	26.8	(3.4)						

*S: segundos; sd: desviación estándar; ST: Stroop test; ST-I-T: Tiempo total; ST-I-A: Número de aciertos*

\*Diferencias significativas (P<0.05)

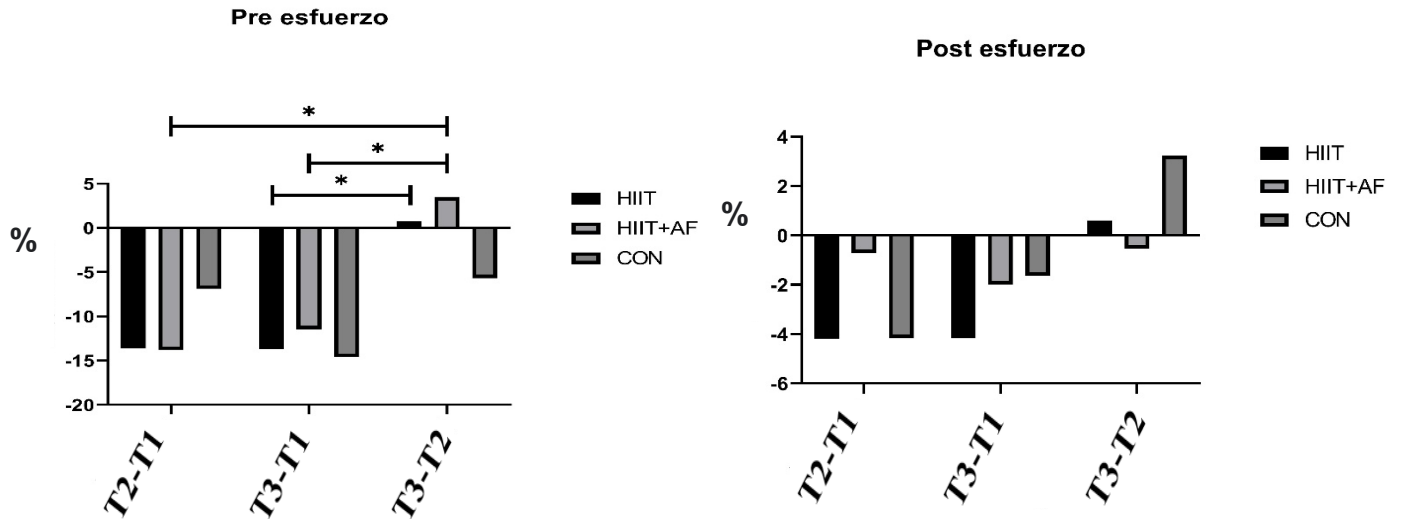
†Diferencias significativas entre T1 y T2

‡Diferencias significativas entre T1 y T3

§Diferencias significativas entre HIIT+AF y C

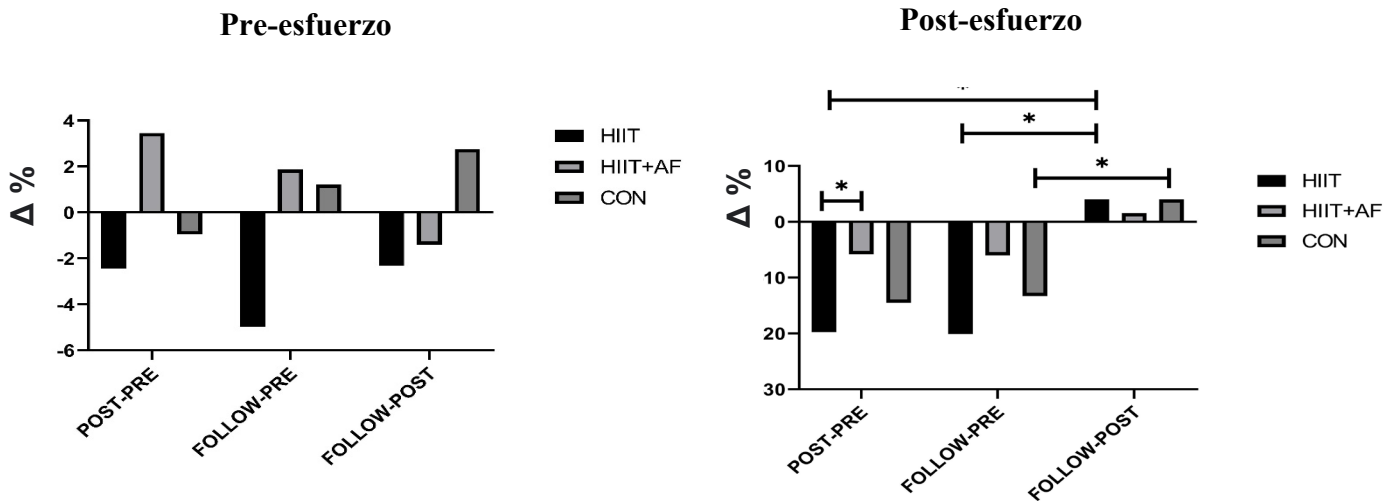
**Figura 9**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba ST-I-T entre los diferentes momentos pre y post esfuerzo.*



**Figura 10**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba ST-I-A entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo.*



**Tabla 9***Diferencias entre las diferentes fases y grupos en el WCST test en los momentos Pre y Post esfuerzo*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	$\eta^2$ parcial	P valor grupo	$\eta^2$ parcial	P valor grupo*tiempo	$\eta^2$ parcial
		Media	(sd)	Media	(sd)	Media	(sd)						
<b>Pre-esfuerzo</b>													
WCST-C	HIIT	3.9	(0.2)	4.2	(0.3)	4.3	(0.2)	.013*	.69	.619	.619	.719	.69
	HIIT+AF	3.8	(0.2)	4.1	(0.2)	4.6‡	(0.2)						
	GC	3.8	(0.2)	4.1	(0.3)	4.1	(0.2)						
WCST-A	HIIT	49.3	(3.6)	52.5†	(3.6)	53.3‡	(2.8)	.001*	.201	.590	.019	.497	.03
	HIIT+AF	50.9	(3.7)	53.1†	(3.2)	54.5‡	(3.1)						
	GC	51.9	(3.3)	53.7	(3.0)	53.8	(3.8)						
WCST-E-P	HIIT	6.8	(2.8)	7.1§	(1.0)	6.3	(0.8)	.097	.097	.028*	.122	.223	.223
	HIIT+AF	6.3	(2.5)	5.7	(1.9)	5.8	(1.2)						
	GC	7.9†	(2.4)	5.7	(1.7)	6.8	(0.8)						
<b>Post-esfuerzo</b>													
WCST-C	HIIT	4.1	(0.2)	4.1	(0.2)	4.65‡	(0.1)	.015*	.075	.771	.01	.602	.602
	HIIT+AF	4.2	(0.2)	4.1	(0.2)	4.35	(0.1)						
	GC	3.9	(0.2)	4.2	(0.2)	4.35	(0.2)						
WCST-A	HIIT	51.3	(5.3)	53.0	(2.5)	54.9‡§	(1.4)	<0.001	.198	.613	.018	.620	.620
	HIIT+AF	51.8	(3.7)	52.6	(4.4)	54.2‡§	(2.6)						
	GC	51.6	(5.3)	54.5†	(2.0)	54.9‡	(1.9)						
WCST-E-P	HIIT	7.5	(2.8)	6.8	(1.0)	6.3	(0.8)	.040*	.109	.266	.03	.859	.859
	HIIT+AF	6.7	(2.5)	6.3	(1.9)	5.8	(1.2)						
	GC	7.2	(2.5)	6.5	(1.7)	6.76	(0.8)						

*S: segundos; sd: desviación estándar; WCST; Wisconsin Card test; WCST-C: Categorías completadas; WCST-A: Aciertos; WCST-E-P: Errores persistentes*

\* Diferencias significativas ( $P < 0.05$ )

† Diferencias significativas entre T1 y T2

‡ Diferencias significativas entre T1 y T3

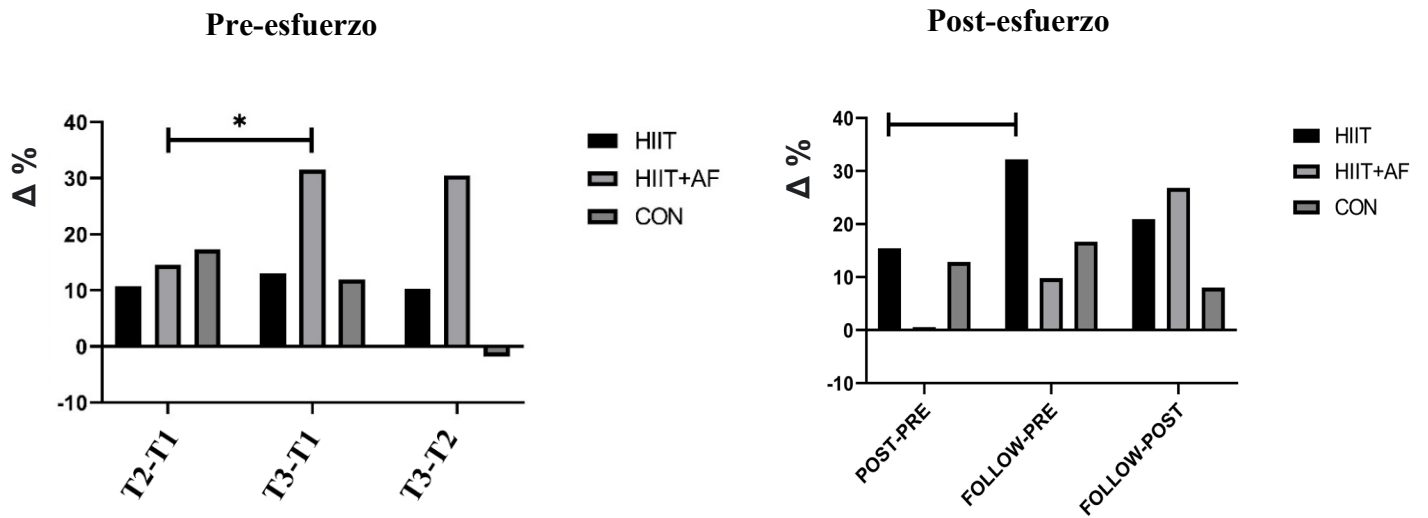
§ Diferencias significativas entre T2 y T3



Por otro lado, en la Tabla 15 se muestran los resultados en la prueba WCST, la cual se centra en la evaluación del control inhibitorio.

**Figura 11**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba WCST-C entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo.*



**Tabla 10**

*Diferencias entre las diferentes fases y grupos en el DST test en los momentos Pre y Post esfuerzo.*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	$\eta^2$ parcial	P valor grupo	$\eta^2$ parcial	P valor grupo*tiempo	$\eta^2$ parcial
		Media	(sd)	Media	(sd)	Media	(sd)						
<b>Pre-esfuerzo</b>													
DST-D	HIIT	5.8	(1.3)	6.25	(0.8)	6.2	(1.1)	.565	.01	.320	.041	.531	.028
	HIIT+AF	6.1	(1.3)	6.33	(0.9)	6.3	(1.2)						
	GC	5.9	(0.8)	5.71	(1.1)	5.8	(1.2)						
DST- I	HIIT	4.5§	(1.2)	5.4†¶	(1.3)	5.2‡	(1.1)	<.001*	.127	.041*	.109	.128	.062
	HIIT+AF	5.4#	(1.2)	5.52#	(1.4)	5.9	(1.2)						
	GC	4.5	(1.6)	4.53	(1.1)	5.2‡	(1.2)						
DST-T	HIIT	10.3	(2.0)	11.6¶†	(1.5)	11.5‡	(1.8)	.001*	.113	.073	.091	.081	.072
	HIIT+AF	11.6	(1.9)	11.8#	(2.0)	12.3	(2.1)						
	GC	10.5	(2.0)	10.2	(2.0)	11.0	(2.2)						
<b>Post-esfuerzo</b>													
DST-D	HIIT	6.1	(1.2)	6.1	(1.1)	6.0	(1.4)	.876	.002	.310	.042	.652	.022
	HIIT+AF	6.3	(1.0)	6.5#	(1.0)	6.4	(1.0)						
	GC	5.9	(1.0)	5.8	(1.0)	6.2	(0.9)						
DST-I	HIIT	5.3	(1.4)	5.5	(1.3)	5.4	(1.3)	.425	.015	.420	.032	.602	.024
	HIIT+AF	5.5	(1.3)	5.3	(1.1)	5.5	(1.1)						
	GC	4.4	(1.0)	4.9	(1.6)	5.3	(1.3)						
DST-T	HIIT	11.4	(2.0)	11.6	(1.8)	11.5	(2.2)	.431	.015	.318	.041	.558	.027
	HIIT+AF	11.8	(2.0)	11.8	(2.1)	11.8	(1.8)						
	GC	10.7	(1.6)	10.7	(2.2)	11.5	(1.7)						

DST: digit span test; DST-D: directo; DST-I: Indirecto; DST-T: Total (directo+indirecto); s: segundos; *sd*: desviación estándar.

\* Diferencias significativas (P<0.05)

† Diferencias significativas entre T1 y T2

‡ Diferencias significativas entre T1 y T3

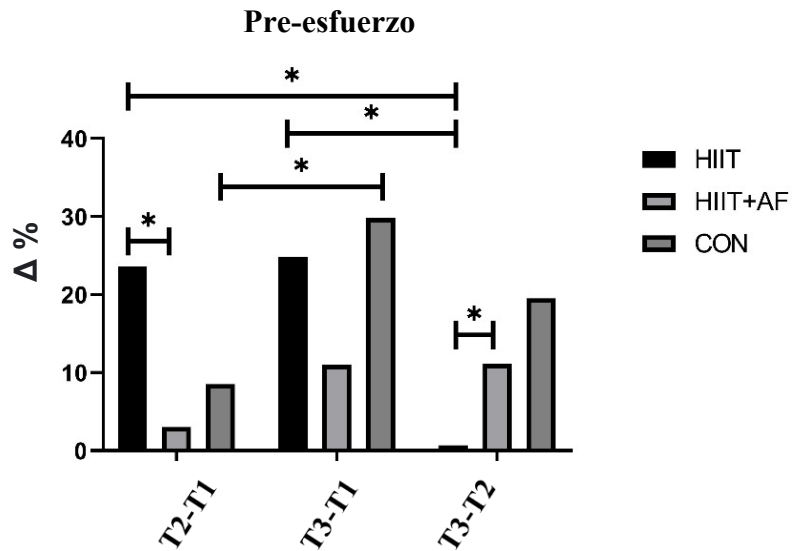
§ Diferencias significativas entre HIIT y HIIT+AF

# Diferencias significativas entre HIIT+AF y CON

¶ Diferencias significativas entre HIIT y CON

**Figura 14**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba DST-I entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo.*



### 6.2.3. Cambios en la composición corporal.

La evaluación de la composición corporal tal y como se describió anteriormente, contemplaba diferentes variables. En la tabla 17 se muestran los resultados comparativos en los tres momentos de evaluación respecto a las variables relacionadas con la composición corporal.

**Tabla 11***Cambios en la composición corporal entre los momentos T1, T2 y T3.*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	$\eta^2$ parcial	P valor grupo	$\eta^2$ parcial	P valor grupo*tiempo	$\eta^2$ parcial
		Media (sd)		Media (sd)		Media (sd)							
Peso	HIIT	61.9	(15.3)	61.2	(14.5)	60.7	(15.2)	.044*	.055	.416	.031	.356	.039
	HIIT+AF	58.6	(9.6)	57.4	(9.3)	57.1 <sup>†</sup>	(9.4)						
	GC	62.5	(8.6)	61.7	(9.3)	62.8	(9.4)						
IMC	HIIT	23.1	(6.0)	22.8	(5.8)	22.6	(6.2)	.026*	.064	.376	.035	.370	.038
	HIIT+AF	22.4	(2.6)	22	(2.5)	21.9 <sup>†</sup>	(2.4)						
	GC	24	(2.6)	23.7	(2.7)	24.1	(2.7)						
% grasa	HIIT	30.2	(8.9)	28 <sup>†</sup>	(8.0)	28.4 <sup>†</sup> §	(8.1)	<.001*	.253	.530	.023	.647	.022
	HIIT+AF	30.3	(6.4)	27.6 <sup>†</sup>	(6.5)	28.4 <sup>†</sup> §	(6.2)						
	GC	31.8	(5.5)	30.1 <sup>†</sup>	(5.0)	31.1	(5.6)						
% muscular	HIIT	66.4	(8.5)	68.5 <sup>†</sup>	(7.8)	68 <sup>†</sup>	(7.7)	<.001*	.244	.477	.027	.514	.029
	HIIT+AF	66.3	(6.2)	68.9 <sup>†</sup>	(6.4)	68.1 <sup>†</sup>	(5.9)						
	GC	64.8	(5.2)	66.2 <sup>†</sup>	(5.0)	65.3	(5.1)						
Perímetro cintura	HIIT	86.6	(12.2)	88	(11.7)	85.7	(14.5)	.108	.032	.576	.013	.587	.063
	HIIT+AF	85.9	(10.7)	85	(9.1)	82.8	(11.6)						
	GC	81.7	(9.0)	86.6	(7.1)	82	(14.4)						

*IMC: Índice de masa corporal; sd: desviación estándar.*

\* Diferencias significativas (P&lt;0.05)

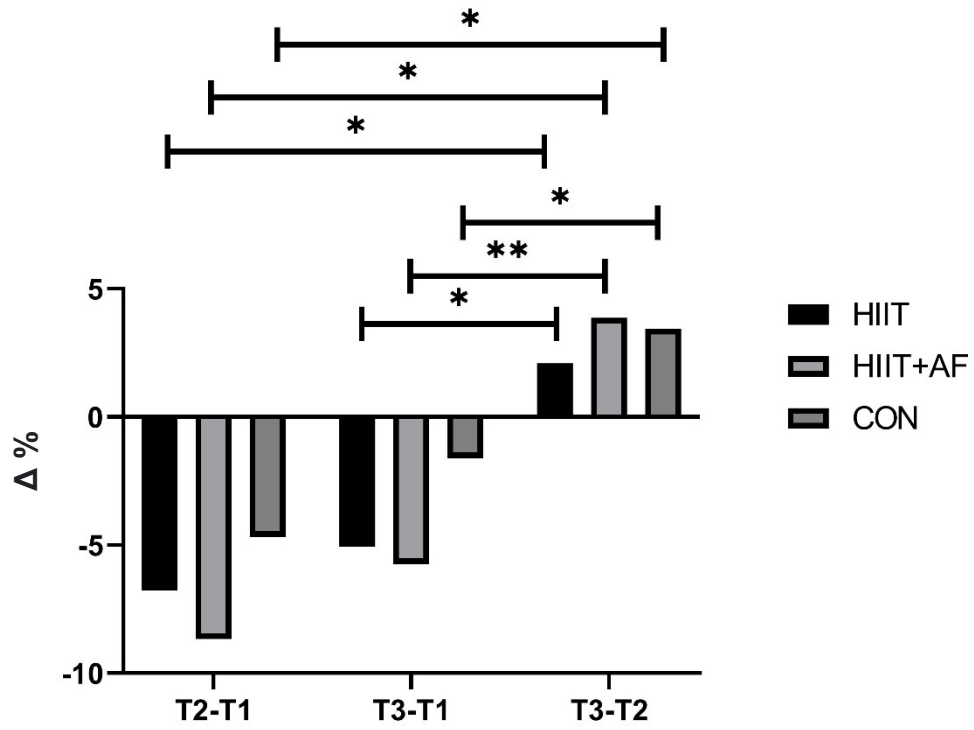
†Diferencias significativas entre T1 y T2

‡Diferencias significativas entre T1 y T3

§Diferencias significativas entre T2 y T3

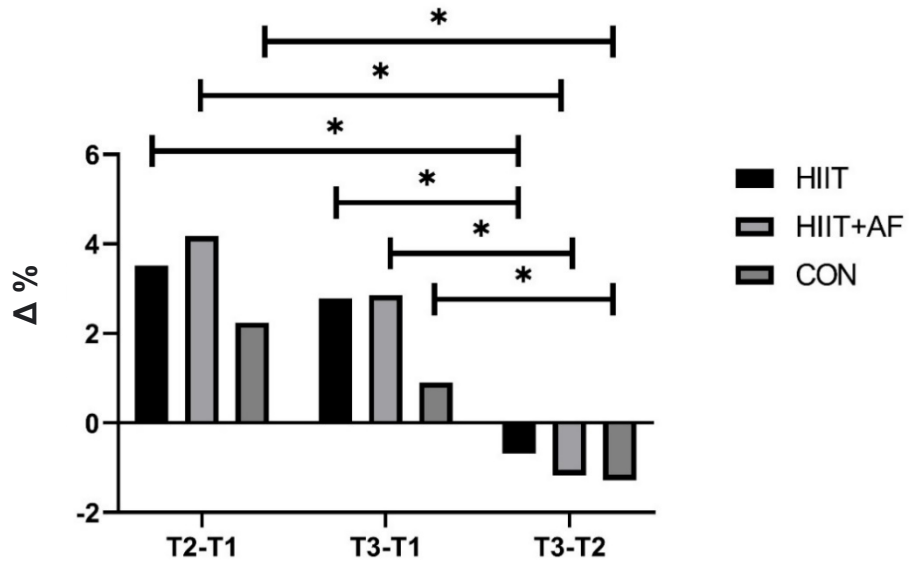
**Figura 13**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la masa grasa entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo.*



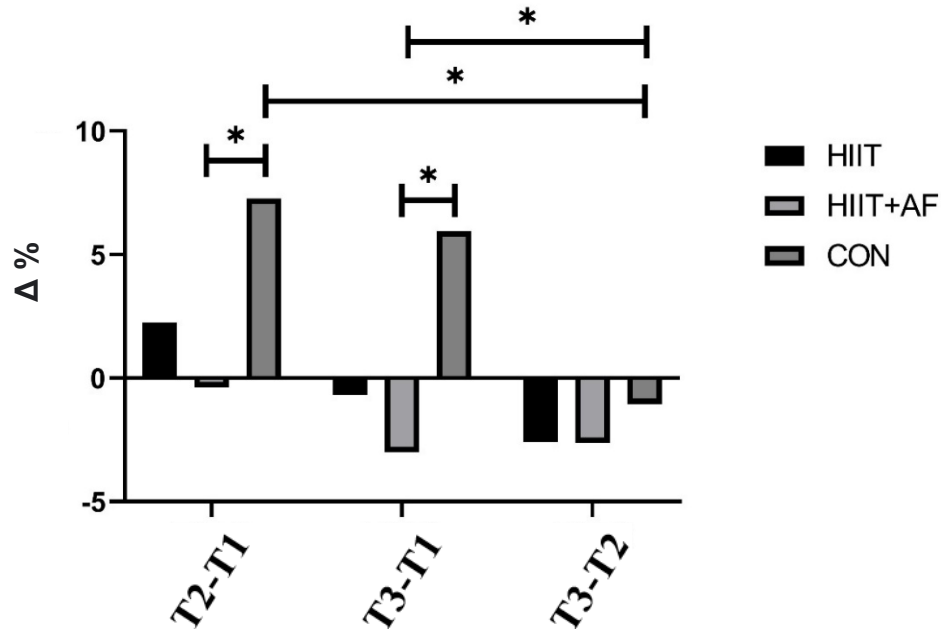
**Figura 14**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la masa muscular entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo.*



**Figura 15**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en el perímetro de cintura entre los diferentes momentos en pre y post esfuerzo.*



#### 6.2.4. Cambios en la condición física.

Los cambios en la condición física quedan reflejados en la Tabla 18. En ella podemos ver los valores en las pruebas de fuerza isométrica en prensión manual para la parte superior y los valores de fuerza isométrica en la extensión de cuádriceps para la parte inferior. Además, se muestran los valores del  $VO_2\text{max}$  obtenidos en las pruebas incrementales en el cicloergómetro. Estas medidas fueron tomadas en T1, T2 y T3.



**Tabla 12***Cambios en la condición física entre los momentos T1, T2 y T3.*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	$\eta^2$ parcial	P valor grupo	$\eta^2$ parcial	P valor grupo*tiempo	$\eta^2$ parcial
		Media	(sd)	Media	(sd)	Media	(sd)						
Dinamometría derecha	HIIT	23.9	(4.1)	24.8	(4.2)	24	(4.2)	.010*	.08	.209	.055	.527	.028
	HIIT+AF	22.6	(5.2)	24†	(5.5)	24.1‡	(5.5)						
	GC	25.4	(3.6)	26.6	(3.2)	25.8	(3.4)						
Dinamometría izquierda	HIIT	25	(4.1)	23.5	(4.3)	23.7	(4.3)	.097	.041	.201	.055	.182	.057
	HIIT+AF	23.2	(5.8)	23.3	(4.7)	23.3	(5.5)						
	GC	26.3‡	(3.3)	26.1§	(3.4)	24.2	(3.1)						
Dinamometría bimanual	HIIT	48.9	(3.3)	48.3	(8.0)	47.7	(8.2)	.219	.004	.878	.007	2.068	.003
	HIIT+AF	45.7	(10.3)	47.2	(9.9)	50.8	(20.1)						
Torque isom. pico pierna derecha	GC	51.7	(6.3)	52.7	(6.2)	50	(6.3)	<.001*	.141	.538	.023	.341	.041
	HIIT	126†‡	(23.9)	106¶	(18.8)	109	(22.1)						
Torque isom. pico pierna izquierda	HIIT+AF	122	(25)	113	(26.3)	116	(30.9)	.010*	.081	.690	.014	.280	.045
	GC	130‡	(26.1)	124	(25.8)	114	(31.2)						
VO <sub>2</sub> max	HIIT	114.4†	(29.8)	95.2§	(29.3)	108	(30)	<.001*	.015	.783	.009	.004*	.131
	HIIT+AF	112.3	(25.8)	104.9	(28.6)	107.9	(24)						
	GC	122.6‡	(23.8)	110.7	(20.9)	103.7	(30.6)						
	HIIT	2.07	(0.6)	2.3†§	(0.5)	2.08	(0.6)						
	HIIT+AF	2.19	(0.5)	2.5 †#§	(0.5)	2.07	(0.5)						
	GC	2.39†‡	(0.5)	2.1	(4.2)	2.01	(6.1)						

\* Diferencias significativas (P&lt;0.05)

†Diferencias significativas entre T1 y T2

‡Diferencias significativas entre T1 y T3

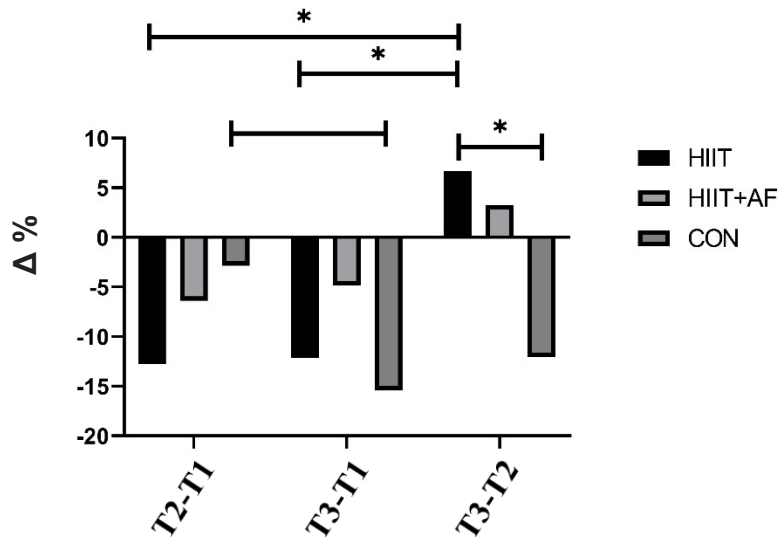
§Diferencias significativas entre T2 y T3

#Diferencias significativas entre HIIT+AF y CON

¶Diferencias significativas entre HIIT y CON

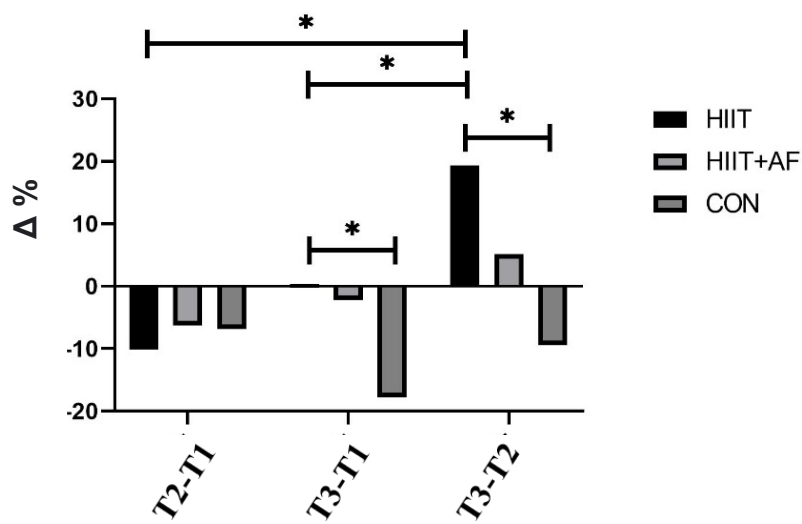
**Figura 16**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba isométrica con la pierna derecha entre los diferentes momentos de evaluación.*



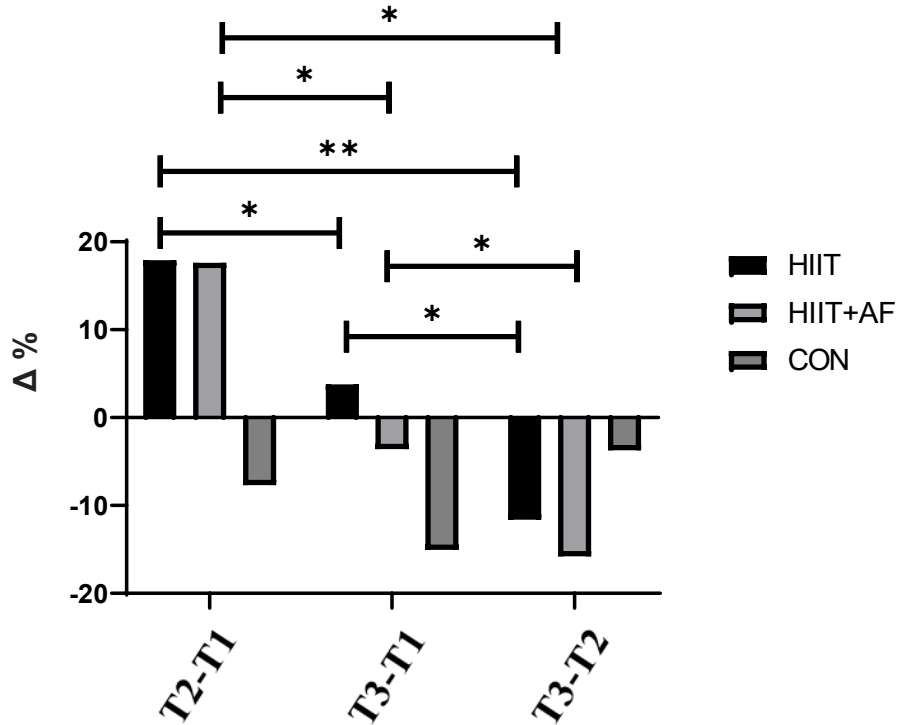
**Figura 17**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la prueba isométrica con la pierna izquierda entre los diferentes momentos de evaluación.*



**Figura 18**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la variable VO<sub>2</sub>max.*



**6.2.5. Cambios en la práctica de AF.**

La actividad física tal y como se describió anteriormente fue establecida en diferentes intensidades a través del cuestionario IPAQ. De esta forma, en la Tabla 19 se puede observar cuatro intensidades y el total de todas en los tres momentos de medición.

**Tabla 13**

*Cambios en la AF entre los momentos T1, T2 y T3.*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor time	η <sup>2</sup>	P valor grupo	η <sup>2</sup>	P valor grupo*tiempo	η <sup>2</sup>
		Media	(sd)	Media	(sd)	Media	(sd)						
Vigorosa	HIIT	40	(92)	349.1†	(129.8)	274.3	(187.8)						
	HIIT+AF	48	(98.5)	325.7†	(191.8)	205.7‡	(107.5)	.001*	.220	.533	.042	.764	.031
	GC	28.2	(79.7)	160	(217.5)	70.6	(112.7)						
Moderada	HIIT	173.3§¶	(180.5)	316.4	(216.6)	497.1‡§¶#	(170.2)						
	HIIT+AF	90	(177.9)	265.7	(298.3)	274.3	(151.8)	.006*	.161	.001*	.386	.052	.147
	GC	77.6	(94.3)	280	(207.8)	98.8	(105.9)						
Ligera	HIIT	831	(446.0)	1080	(511.0)	806	(914.0)						
	HIIT+AF	728	(443.0)	1457†	(962.0)	1266‡	(936.0)	.420	.029	.285	.083	.039*	.157
	GC	1159	(856.0)	1067	(1134.0)	1205	(912.0)						
Total	HIIT	1044	(485.0)	1745	(747.0)	1472	(854.0)						
	HIIT+AF	866	(539.0)	2048†	(917.0)	1746‡	(846.0)	.015*	.149	.809	.015	.107	.127
	GC	1265	(879.0)	1507	(969.0)	1375	(988.0)						

\* Diferencias significativas (P<0.05)

† Diferencias significativas entre T1 y T2

‡ Diferencias significativas entre T1 y T3

# Diferencias significativas entre T2 y T3

§ Diferencias significativas entre HIIT y HIIT+AF

¶ Diferencias significativas entre HIIT y CON

**6.2.6. Cambios en la calidad de vida.**

A continuación, la Tabla 20 nos muestra los diferentes resultados dados en las variables medidas a través del cuestionario Sf-36. De esta forma, se puede analizar las siete dimensiones dadas durante los tres momentos evaluados y su efecto tras el programa de entrenamiento y el periodo de seguimiento.

**Tabla 14**

*Cambios en la AF entre los momentos T1, T2 y T3.*

Variable	Grupo	T1		T2		T3		P valor tiempo	η <sup>2</sup>	P valor grupo	η <sup>2</sup>	P valor grupo*tiempo	η <sup>2</sup>
		Media (sd)		Media (sd)		Media (sd)							
Rol físico	HIIT	100.0§	(0.0)	100.0	(0.0)	100.0	(0.0)	.095	.042	.086	.085	.005*	.125
	HIIT+AF	95.2	(10.1)	100.0†	(0.0)	100.0‡	(0.0)						
	GC	100.0#	(0.0)	100.0	(0.0)	98.5	(0.0)						
Dolor Corporal	HIIT	78.4	(22.0)	80.9§¶	(20.9)	88.9‡¶	(10.1)	.001*	.113	.027*	.123	.077	.073
	HIIT+AF	86.3	(20.9)	91.4#	(9.6)	88.3#	(9.4)						
	GC	84.7	(18.1)	98.8†	(4.8)	95.3‡	(5.1)						
Salud General	HIIT	66.5	(11.7)	65.0§	(15)	72.5	(14.6)	.001*	.05	.533	.039	.764	.253
	HIIT+AF	64.8	(14.3)	83.6†#	(13.1)	69.8	(14.6)						
	GC	70.6	(14.1)	61.2	(16.9)	76.2	(16)						
Vitalidad	HIIT	61.0	(10.2)	67.0	(15.2)	68.0	(6.8)	<.001*	.173	.876	.005	.143	.06
	HIIT+AF	61.9	(15.9)	70.7†	(18.6)	68.3	(14.2)						
	GC	58.2	(17.3)	65.6	(7.88)	75.6‡	(16.6)						
Función social	HIIT	97.5§¶	(4.4)	95.5§	(5.10)	97.3	(10.2)	.010**	.08	.003*	.188	.252	.047
	HIIT+AF	84.0	(19.6)	83.3	(24.1)	90.5#	(16.2)						
	GC	85.9	(19.5)	88.8	(11.2)	100.0‡	(0.0)						
Rol emocional	HIIT	71.7	(36.3)	76.7¶	(42)	93.3‡§	(20.5)	<.001*	.172	.165	.063	.015*	.105
	HIIT+AF	50.8	(44.2)	74.6	(29.6)	73.0‡#	(37.4)						
	GC 1	60.8	(46)	49.0	(45.8)	100.0‡	(0.0)						
Salud mental	HIIT	65.3	(10.9)	65.0§	(15)	72.5	(14.6)	.039*	.057	.278	.045	<.001*	.25
	HIIT+AF	64.8	(14.3)	83.6†#	(13.1)	69.8	(14.6)						
	GC	70.6	(14.1)	61.2†	(16.9)	76.2	(16)						

\* Diferencias significativas (P<0.05)

† Diferencias significativas entre Pre y Post

‡ Diferencias significativas entre Pre y *Follow*

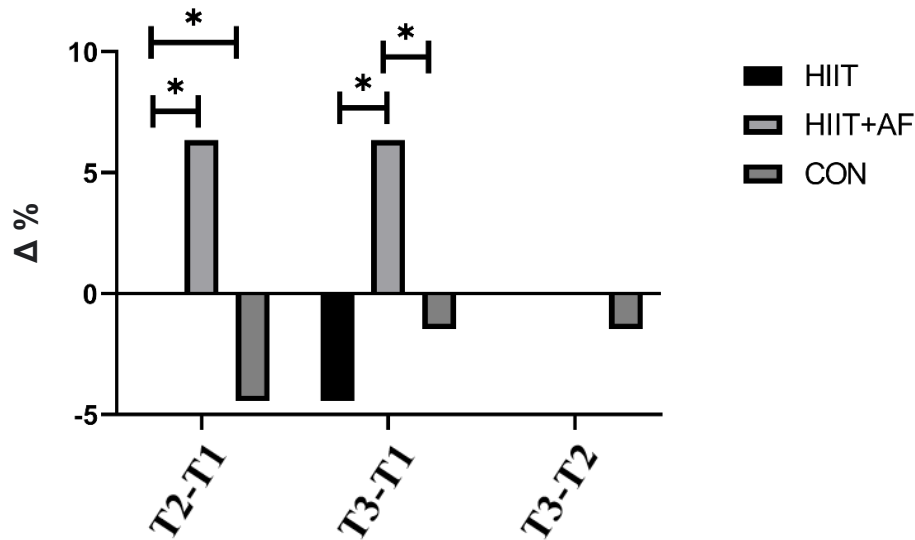
§ Diferencias significativas entre HIIT y HIIT+AF

# Diferencias significativas entre HIIT+AF y CON

¶ Diferencias significativas entre HIIT y CON

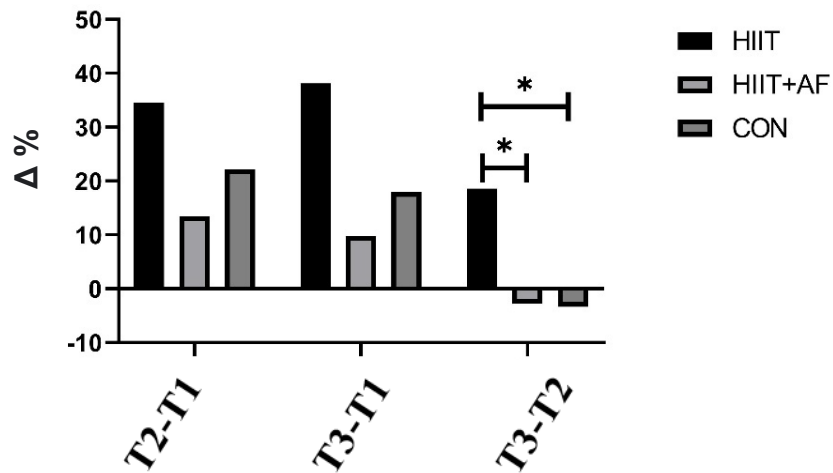
**Figura 19**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de Rol físico del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.*



**Figura 20**

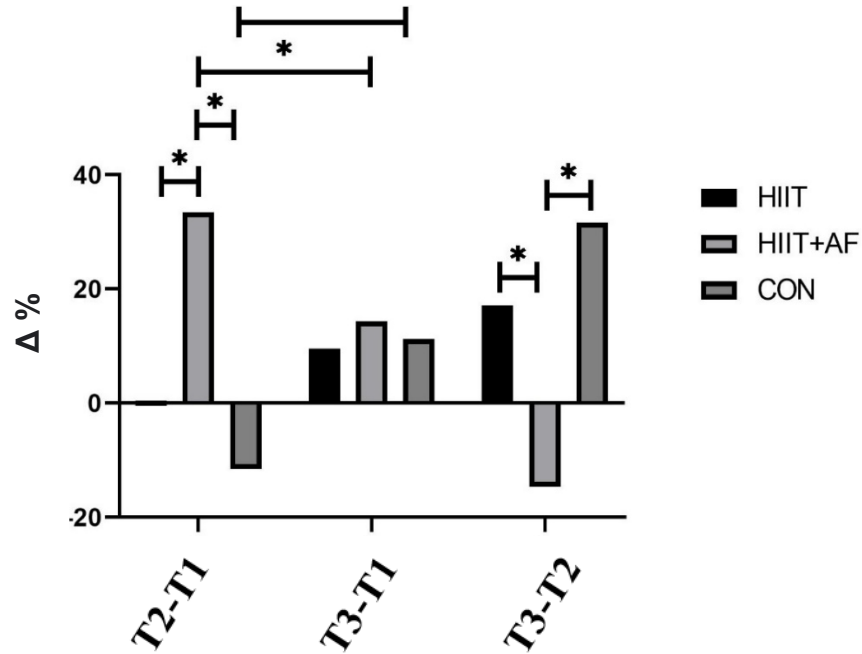
*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de dolor corporal del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.*





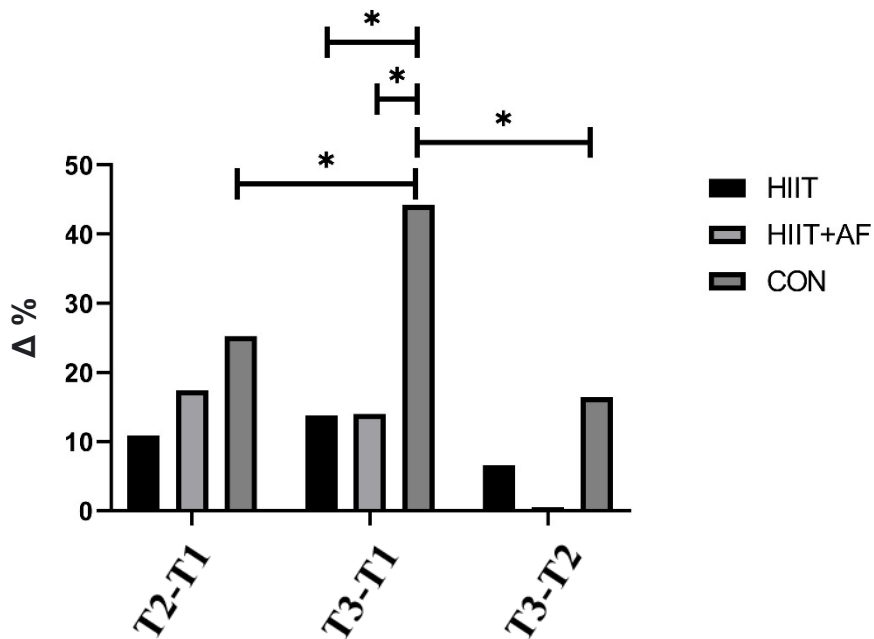
**Figura 21**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de salud general del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.*



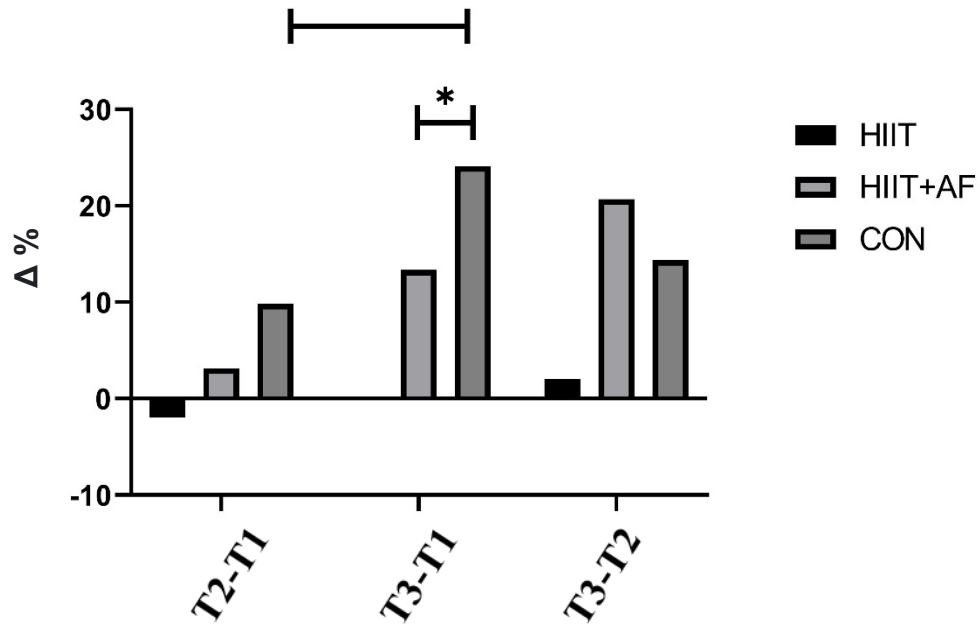
**Figura 22**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de vitalidad del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.*



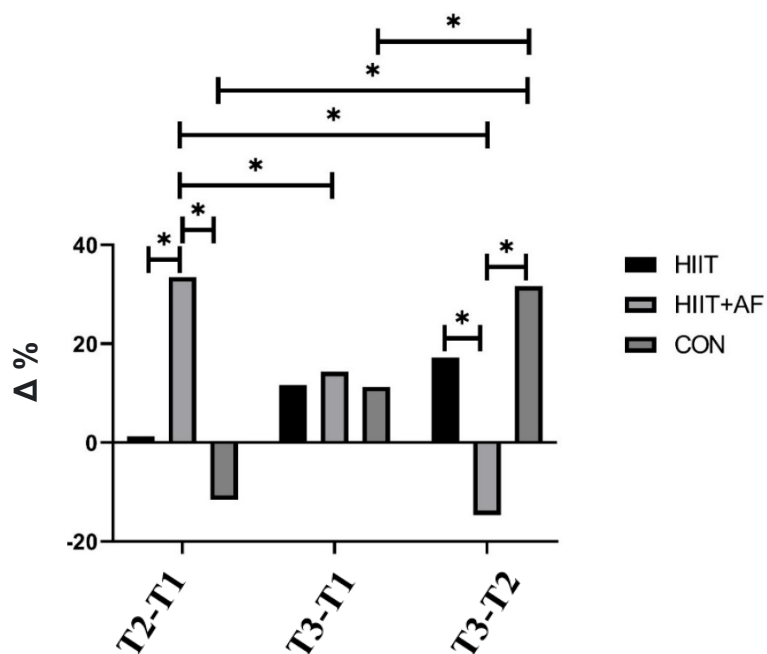
**Figura 23**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de función social del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.*



**Figura 24**

*Diferencias en el porcentaje del cambio entre grupos en la dimensión de salud mental del cuestionario SF-36 entre los diferentes momentos de evaluación.*



### 6.3. Efecto agudo en los diferentes momentos de evaluación.

#### 6.3.1. IGF-1.

De forma complementaria a los resultados mostrados en la Tabla 13, podemos observar los valores obtenidos en la concentración de IGF-1 en Pre esfuerzo y Post esfuerzo en cada uno de los tres momentos evaluados. Tras comparar el efecto agudo, podemos decir que el grupo CON en el momento T1 obtuvo un incremento significativo tras realizar un esfuerzo máximo ( $\Delta=21.8\%$ ;  $d$  Cohen= 0.317  $p= 0.04$ ).

En T2 a pesar de no encontrar cambios significativos, se pueden observar importantes cambios en los 3 grupos (HIIT+AF  $d$  Cohen, 0.2,  $\Delta$  23.9%; HIIT+AF  $d$  Cohen 0.27,  $\Delta$  50.1%; CON  $d$  Cohen 0.27,  $\Delta$  17.2%). Por último, en T3 se dan ciertas mejoras, siendo más pronunciadas en HIIT ( $d$  Cohen 0.1,  $\Delta$  22.6%) frente a los grupos HIIT+AF ( $d$  Cohen 0.16,  $\Delta$  2.3%) y CON ( $d$  Cohen 0.12,  $\Delta$  8.0%).

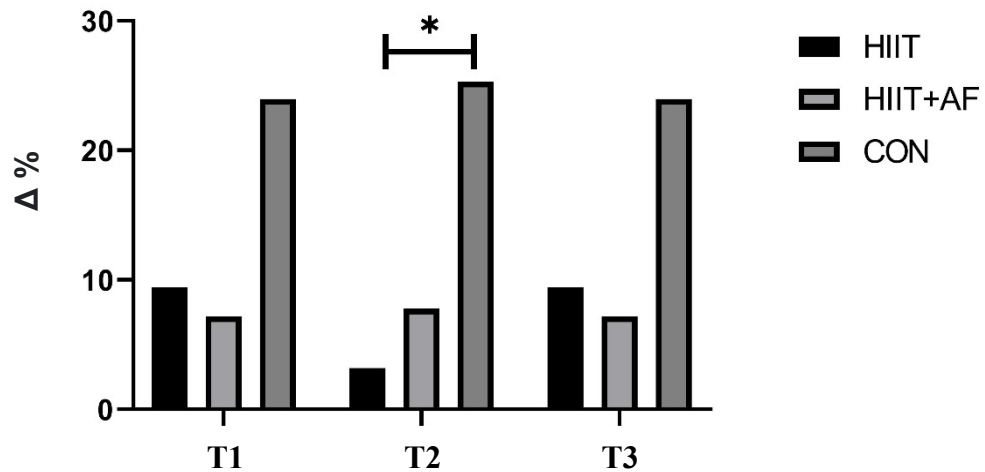
#### 6.3.2. Funciones ejecutivas.

Los cambios agudos dados en las funciones ejecutivas se muestran en la tabla analizada anteriormente (Tabla 14). En ella podemos observar los valores obtenidos en la prueba ST en las situaciones Pre y Post esfuerzo en los tres momentos evaluados.

En la evaluación T1, el grupo HIIT+AF consigue un cambio significativo en la prueba ST-A ( $p=0.001$ ), reduciendo levemente el tiempo en su ejecución ( $p=0.06$ ), lo que indicaría una mayor eficiencia en esta función ejecutiva. Por otro lado, en T2 es el grupo CON quien obtiene un mejor rendimiento en el control inhibitorio tras obtener cambios significativos en ST-A ( $p=0.002$ ) y ST-T ( $p=0.001$ ).

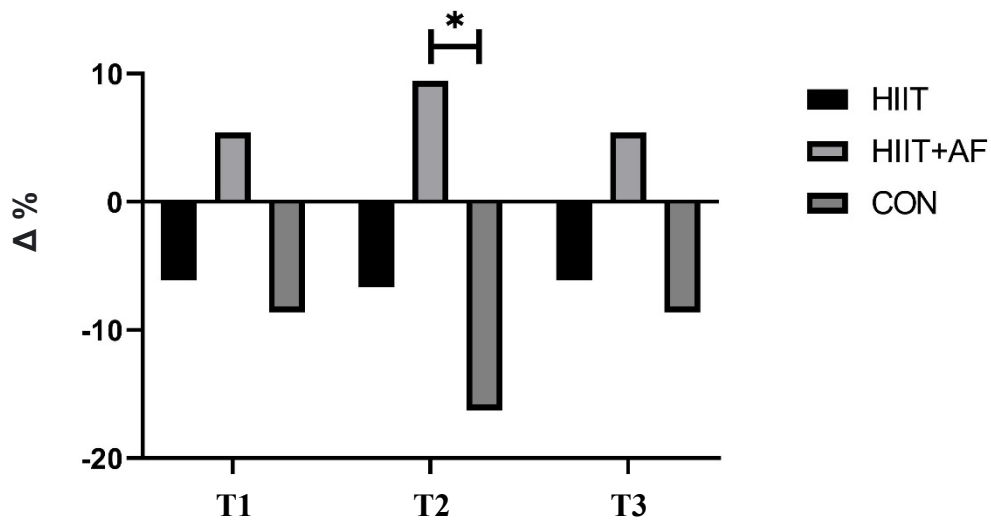
**Figura 25**

*Diferencia del efecto de ST-A entre pre esfuerzo y post esfuerzo en T1, T2 y T3.*



**Figura 26**

*Diferencia del efecto de ST-T entre pre esfuerzo y post esfuerzo en T1, T2 y T3.*



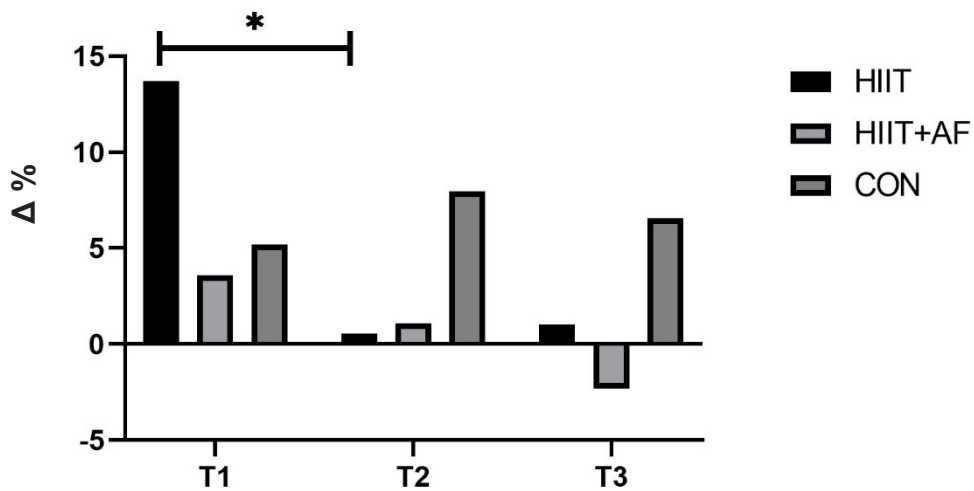
Centrándonos en la flexibilidad cognitiva, en la Tabla 15 podemos observar los valores obtenidos en las pruebas de WCST en las situaciones Pre y Post esfuerzo en T1, T2 y T3.

En esta ocasión, no se ha encontrado ningún efecto agudo en ninguno de los grupos ni momentos evaluados durante toda la investigación. Por último, en la Tabla 16 se puede ver el rendimiento agudo en la prueba DST en situaciones Pre y Post esfuerzo en cada uno de los tres momentos evaluados.

En esta función ejecutiva, tan solo el grupo HIIT consigue un incremento significativo en las pruebas DST-I ( $p=0.036$ ) y DST-T ( $p=0.036$ ) en el T1.

**Figura 27**

*Diferencia del efecto de DST-T entre pre esfuerzo y post esfuerzo según cada momento de evaluación.*



# DISCUSIÓN

---

## 7. DISCUSIÓN.

Esta investigación ha tenido siempre como referencia sus propios objetivos, centrándonos en determinar la magnitud de las respuestas de IGF-1 ante un programa de entrenamiento interválico de alta intensidad en jóvenes sedentarias. Por ello, se analiza el efecto que ejerce dicho programa HIIT en las funciones ejecutivas y sobre diversas variables relacionadas con la salud.

Teniendo en cuenta la capacidad de neurogénesis que genera la estimulación de IGF-1 a través del ejercicio físico crónico (Trejo et al., 2008), siendo mediado por el acceso a nivel cerebral a través de la vía del líquido cefalorraquídeo (Carro et al., 2000), nos encontrábamos ante la oportunidad de conocer si estas respuestas podían ser incrementadas a través del ejercicio físico intenso, ya que las investigaciones existentes plantean una falta de consistencia en sus resultados obtenidos (De Alcantara Borba et al., 2020).

En relación a los múltiples beneficios del ejercicio físico de alta intensidad, era de especial relevancia conocer el posible beneficio de éste, sobre las capacidades cognitivas, especialmente en las funciones ejecutivas, como son el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, las cuales resultan indispensables para el aprendizaje en estas edades.

Ante estas premisas, y con el fin de comprobar el efecto de un programa de alta intensidad en jóvenes universitarias sedentarias en la estimulación del IGF-1 y funciones ejecutivas, se planteaba un diseño experimental controlado y aleatorizado en tres grupos. De esta forma, se pretendía establecer una relación causal entre las variables independientes y dependientes. Además, para dotar de una mayor homogeneidad en la muestra en los tres grupos estudiados, el presente estudio ha sido riguroso en su diseño, disponiendo de un buen control durante la

intervención y empleando para la evaluación de las variables dependientes las principales herramientas disponibles y existentes.

A continuación, y siguiendo el orden de exposición de los resultados, se abordarán los resultados obtenidos a través de un análisis y discusión en relación a las principales investigaciones previas existentes.

### **7.1. Sobre la muestra y sus características.**

En España, el 40% de las mujeres pasan más de 6 horas al día en posición sedentaria. Esta conducta hace que se reduzca la calidad de vida en general del género femenino (Marín-Jiménez et al., 2020).

Por ello, si la mujer en general es más sedentaria que el hombre, es de interés conocer el efecto de un programa de entrenamiento físico en la calidad de vida de las personas entrenadas, e incluso conocer si un mismo programa de entrenamiento puede afectar con distinto efecto según el género.

Para ello, se calculó el tamaño muestral teniendo en cuenta la respuesta del IGF-1 al ejercicio, siendo esta la principal variable del estudio. Además, con el fin de conseguir una potencia estadística mínima del 80%, se tomaron en consideración los resultados obtenidos por estudios previos como Antonelli et al., (2009), quienes estudiaron las respuestas de IGF-1 al ejercicio. De esta forma, el tamaño de la muestra (por cada grupo) se estimó un tamaño muestra de 25. Esto fue para un  $\alpha=95\%$ , una potencia estadística del 90%.

En lo referente a las características generales de la población, tal y como se muestra en la Tabla 8, y centrándonos en el fenotipo de las mujeres evaluadas, presentan valores que implican un riesgo para la salud, teniendo un porcentaje graso elevado, con valores medios cercanos a 30%



(HIIT 30.2%; HIIT+AF 30.2%; Control 31.8%). Esta problemática también se constata en los valores de perímetro de cintura, (HIIT 86.6 cm; HIIT+AF 85.9 cm; Control 81.7 cm), los cuales muestran más de 80 cm, reflejando según la OMS un “riesgo incrementado” de padecer en un futuro enfermedad cardiovascular (Araúz Hernández et al., 2013). Y centrándonos en el porcentaje de masa muscular, los resultados muestran un bajo porcentaje de masa muscular en todos los grupos (HIIT 66.4%; HIIT+AF 66.3%; Control 64.8%).

En cuanto al “fitness” o condición física de los sujetos, en la Tabla 9 se observan los datos referentes a la dinamometría (brazo derecho e izquierdo respectivamente; HIIT 23.90-24.99 N; HIIT+AF 22.57-23.18 N; 25.43-26.27 N), la extensión isométrica en isocinético y los valores de  $VO_2\text{max}$  (HIIT 2.17 L\*min<sup>-1</sup>; HIIT+AF 2.19 L\*min<sup>-1</sup>; Control 2.38 L\*min<sup>-1</sup>). Este rendimiento apunta a un estado poco saludable y a una baja condición física de cada una de las 77 mujeres que finalizaron todo el proceso de evaluación (Barrios Vergara et al., 2018).

En la Tabla 10 se pueden observar los valores medios del gasto energético que venían siendo habituales en las participantes antes del programa de entrenamiento, pudiéndose considerar mujeres sedentarias e inactivas (HIIT 1044 MET/min/sem; HIIT+AF 866 MET/min/sem; Control 1265 MET/min/sem) (Crespo-Salgado et al., 2015). Esta conducta sedentaria viene siendo habitual en los últimos años, e incluso éstos valores de inactividad se han incrementado desde el COVID-19 (Dunstan et al., 2021; Narici et al., 2021). Aun así, antes del periodo pandémico, la OMS ya planteó un plan de acción mundial sobre actividad física para intentar reducir un 10% del sedentarismo mundial para el próximo 2025 y un 15% para el 2030 (OMS, 2019). La situación pandémica hizo que 1.4 billones de adultos (27.5% corresponde a la población adulta), no reúnan las recomendaciones mínimas de actividad física. Así, los datos globales más actuales muestran que un 81% de adolescentes no realizan al menos una hora de actividad física diaria. De esta forma,

si la tendencia continua de igual forma, los porcentajes de inactividad física en la población adulta podría incrementar de forma significativa (OMS, 2022). Por tanto, nos encontramos ante una problemática que trasciende a toda la población mundial.

Comparando estos resultados con los resultados en población universitaria española (Corella et al., 2018; Martínez Díaz et al., 2011), de igual forma se confirma un bajo nivel de AF en la población estudiada. Además, al igual que en la investigación de Corella et al. (2018), en las mujeres evaluadas se observa una baja práctica de AF vigorosa.

Respecto a la calidad de vida (SF-36), en la Tabla 11 se puede observar que las mujeres evaluadas manifestaban altas puntuaciones tanto en la función física como en el rol físico a pesar de manifestar un bajo fitness. Tal y como muestra el estudio de López García et al. (2022), en periodo de COVID, la población universitaria ha mostrado puntuaciones altas en las dimensiones físicas, pudiendo ser debidas al incremento en ocasiones de la práctica de AF debido a la situación de confinamiento. En el presente estudio las puntuaciones más bajas se han reflejado en las dimensiones de vitalidad, salud mental y salud general, mostrando valores homogéneos entre los grupos en todas las variables mencionadas. Estos resultados apoyan las conclusiones de estudios descriptivos de la población universitaria en situación COVID (López García et al., 2022), donde de igual manera se observaron menores puntuaciones en aspectos psicológicos como la percepción de salud general y la salud mental.

En definitiva, se partía con un grupo de chicas universitarias de edades comprendidas entre 18 y 25 años, las cuales se pueden considerar sedentarias e inactivas. Esto hace que presentaran valores que implican un riesgo para la salud, teniendo un porcentaje graso elevado, alta relación entre los perímetros de cintura y cadera. Además, en general, disponían de una baja condición física.

## 7.2. Sobre la intervención HIIT.

La intervención llevada a cabo en esta investigación se centró en la repetición de intervalos de trabajo a alta intensidad, intercalado con intervalos de recuperación pasiva. Este tipo de entrenamiento es más conocido como *high-intensity interval training* o HIIT.

La eficacia y seguridad de este tipo de entrenamiento ha sido de interés no solo en población deportista, sino también en poblaciones con enfermedades crónicas e inactivas entre otras, mostrando resultados prometedores (Arad et al., 2020; Ross et al., 2016). Además, se ha demostrado cómo este sistema de entrenamiento es viable y fiable en su desarrollo en una población universitaria (Eather et al., 2019).

Entre las diversas ventajas que ofrece el HIIT, la más importantes es el elevado volumen total de trabajo a intensidad alta que se llega a realizar (Gillen et al., 2018; Kong et al., 2016). Aun así, debido a todas las posibilidades dadas en la planificación de las principales variables del entrenamiento (intensidad, duración, densidad, descanso...), una de las limitaciones más importantes es la variabilidad en los diseños de los programas de entrenamiento que se encuentran en la literatura (Buchheit, 2013). A pesar de ello, varios estudios han investigado el efecto de la combinación de estas variables para obtener el máximo efecto posible (Romeo et al., 2017) , y especialmente en la mejora de la cognición (Hsieh et al., 2020; Martland et al., 2020). En estos metaanálisis (Ai et al., 2021; S. S. Hsieh et al., 2020) se concluye que además de los elementos de la carga, hay otros factores que inciden en el efecto del HIIT. Estos pueden ser la condición física de la población, edad y género entre otros.

En líneas generales, se puede concluir que el HIIT genera un potente estímulo en las adaptaciones fisiológicas centrales y periféricas, las cuales suelen ser mayores que las conseguidas a través de entrenamiento continuado de baja intensidad (MacInnis & Gibala, 2017). Con objeto

de adaptar el diseño inicial a nuestra muestra, se analizaron estudios con diversos planteamientos HIIT para así adaptarlos según el nivel inicial de condición física de la persona. Entre estas adaptaciones, podemos encontrar una modificación de la densidad del entrenamiento, ampliando el tiempo de recuperación frente al tiempo de trabajo (por ejemplo, densidad 1:2). Por otro lado, también se puede observar una ampliación del tiempo de trabajo para que la intensidad de trabajo sea menor y dotar de un tiempo de recuperación igual al esfuerzo (densidad 1:1) (Gibala et al., 2012). Todas estas adaptaciones, han mostrado beneficios en mujeres sedentarias, tales como un incremento en la densidad capilar y mitocondrial en las dos tipos de fibras principales (Arad et al., 2020), mejor control glucémico (Saghiv et al., 2017), mejora de la composición corporal y condición física (Micielska et al., 2019) e incluso mejoras en la salud mental, cognición y funciones ejecutivas en mujeres jóvenes sedentarias (Y. Zhang et al., 2021). En este sentido, y con el objetivo de realizar una correcta planificación para nuestro programa de entrenamiento con mujeres sedentarias e inactivas, lo primero será considerar la intensidad a la cual se desarrollan los intervalos de trabajo, el volumen del protocolo y la duración total del programa de entrenamiento (Reljic et al., 2019).

El programa de entrenamiento tuvo una duración de 12 semanas, aunque estudios similares han mostrado beneficios en diversos dominios de las funciones ejecutivas en tan solo 6 semanas de entrenamiento (Y. Zhang et al., 2020). El programa de entrenamiento se ha desarrollado a través de intervalos de 30 segundos de trabajo y 30 segundos de descanso (densidad 1:1) hasta completar de forma progresiva semanalmente las recomendaciones mínimas de 150 minutos de actividad intensa por semana (Bull et al., 2020).

Generalmente, los intervalos de trabajo HIIT se realizan a una intensidad  $\geq 80\%$  y en otras ocasiones, al 85-95% de la frecuencia cardiaca máxima. Por ello, es necesario considerar una

progresión que abarque este rango en la fase inicial del programa de entrenamiento (Arad et al., 2020). Como se puede observar en la Figura 3, nuestro programa de entrenamiento mantenía los principales principios de progresión del entrenamiento, ya que existía una sobrecarga progresiva, continuidad en los entrenamientos e individualización del esfuerzo. De esta forma, durante las primeras tres semanas destinadas a la búsqueda de la adaptación, las sesiones de entrenamiento se realizaron a una intensidad de 8 en la escala subjetiva del esfuerzo (0-10). A favor de este planteamiento en la planificación, en un reciente metaanálisis (Reljic et al., 2019), encontraron que el volumen del entrenamiento era predictor de la tasa de abandono de los individuos sedentarios que practicaban HIIT, mientras que la intensidad del ejercicio no. Por tanto, en este metaanálisis se concluye que un sujeto no entrenado podría ser capaz de tolerar tanto el esfuerzo fisiológico (por ejemplo, mantener la intensidad planificada), como psicológico (por ejemplo, mantener la adherencia) siempre que el volumen no sea excesivo (Reljic et al., 2019).

En la Figura 6 se puede observar cómo en la primera fase de adaptación (semanas 1-3), las mujeres no consiguieron mantener la intensidad programada inicialmente, la cual era de una RPE de 8 (media 7.55; sd 0.46). En la siguiente fase, en la cual se planificó trabajar a una intensidad de 8.5, se puede ver que existió una mayor capacidad para mantener dicha intensidad propuesta, llegando a trabajar a intensidades cercanas a 8.5 (media 8.45; sd 0.15). Por último, desde la semana 7 a la 12, se consiguió una completa adaptación a la intensidad planificada inicialmente, siendo de 9 en las semanas 7-8 (media 8.88; sd 0.3), 9.5 durante las semanas 9-10 (media 9.3; sd 0.53) y máxima intensidad posible durante las semanas 11-12 (media 9.9; sd 0.34).

El programa de entrenamiento se llevó a cabo en formato online. En cada sesión se encontraba un entrenador que compartía el vídeo del entrenamiento para que todas las participantes

podieran seguir la ejecución. Por tanto, la función del entrenador era la de dar las indicaciones técnicas y las correcciones necesarias.

El entrenamiento no supervisado ha sido muy investigado en el último año debido a la situación pandémica dada en durante el COVID-19. Por ello, estudios previos han mostrado que este tipo de modalidad de entrenamiento puede ser una estrategia efectiva y válida respecto al tradicional entrenamiento personal (Daveri et al., 2022). A pesar de esta efectividad, parece que la presencia del entrenador aporta una mayor motivación y atención, la cual se puede trasladar a un mayor esfuerzo durante el entrenamiento (Mcnamara et al., 2008). Por este motivo, en la investigación de Daveri et al. (2022), en la cual han comparado tres tipos de entrenamientos online, (1) bajo la supervisión de un entrenador durante la transmisión del entrenamiento, (2) sin supervisión siguiendo el vídeo de forma autónoma y (3) sin supervisión, siguiendo un programa escrito, se observó que todos los grupos incrementaron el *fitness* muscular, pero tan solo el entrenamiento online supervisado obtuvo mejoras en el *fitness* muscular y cardiovascular. Por tanto, podemos entender que la supervisión online puede incrementar la motivación del sujeto que realiza dicho programa de entrenamiento. Si comparamos la RPE de nuestro estudio, podríamos entender que nuestras mujeres, debido a la presencia del entrenados durante el entrenamiento, disponían de la motivación necesaria para alcanzar la intensidad programada.

En relación a la adherencia a los programas de entrenamiento online, algunos estudios han mostrado una alta pérdida de la población durante el programa de entrenamiento, llegando incluso a pérdidas cerca del 50% (Wilke et al., 2022). En la presente investigación, la frecuencia de asistencia para ambos grupos HIIT fue de un 94%, siendo este un porcentaje superior a los reportados en programas HIIT en población sedentaria, con un porcentaje de abandono del 17.6%

(Reljic et al., 2019). Esta alta asistencia al programa de entrenamiento, pudo deberse a la percepción favorable y disfrute que muestran las mujeres inactivas ante cortas dosis de ejercicio intenso (Astorino et al., 2019). Además, en la presente investigación se realizaron diferentes franjas horarias para ajustarnos a la disponibilidad que disponían estas mujeres universitarias. Por ello, la flexibilidad horaria que nos permite el entrenamiento online, junto con la brevedad de los entrenamientos en comparación a otro tipo de sistemas de entrenamientos, hizo que se diera una alta adherencia. Respecto a la visualización durante los entrenamientos y la intimidad que algunas mujeres pudieran requerir, no se obligó a disponer de la cámara encendida durante el entrenamiento, pero sí se incidió en su importancia para que cada entrenador pudiera corregir los errores. Esto no supuso ningún problema en la dinámica, ya que el 100% de las mujeres permitieron ser observadas durante su ejecución.

A pesar de encontrar buenos resultados respecto a la adherencia, se dieron pérdidas durante todo el proceso de investigación. La mayor pérdida experimental fue dada en el GC en la evaluación correspondiente a T3 (10 mujeres). Ésta viene dada debido a la falta de interés por las mujeres en su evaluación. Cabe destacar que el GC no tuvo ningún tipo de intervención, por ello, quizás hubiera sido necesario desarrollar un trabajo complementario de estiramientos para que la pérdida hubiera sido menor.

Respecto a los grupos HIIT, hubo 5 pérdidas durante el proceso de entrenamiento por motivos de falta de tiempo, lesión y no asistir a la evaluación de T2. Por último, en la evaluación T3, hubo una pérdida por cambio de residencia y 3 por falta de interés en su medición.

### **7.3. Sobre la evaluación bioquímica.**

El IGF-1 y, más precisamente, su respuesta aguda y crónica ante la aplicación de ejercicio interválico de alta intensidad, fue considerada la variable principal de la investigación desarrollada. Este factor neurotrófico ha mostrado suficiente sensibilidad ante el ejercicio físico y la AF (Hejazi, 2017a; Zhang et al., 2020). Como consecuencia, evidencias recientes relacionan la práctica de AF con ciertos indicadores de función neuronal, tales como un incremento de factores neurotróficos, genes de expresión inmediata, o neurogénesis hipocampal (De Alcantara Borba et al., 2020). Por tanto, asumiendo que el ejercicio crónico genera un incremento en la concentración de IGF-1, esto hará que se potencie el rendimiento en la cognición y en ciertos dominios de la misma, como son las funciones ejecutivas (Zhang et al., 2020).

Debido al interés por la comunidad científica de la respuesta del IGF-1 en humanos, son varios los enfoques que se han analizado con la intención de justificar los posibles cambios generados en la cognición. Por un lado, se ha estudiado el efecto de los niveles circulantes de IGF-1 medido en saliva tras un esfuerzo máximo hasta la extenuación, comparando dos duraciones diferentes (duración breve y media). En este caso se observó un incremento en ambas duraciones en el IGF-1 total, siendo más pronunciada en el esfuerzo de mayor duración (incremento de 6 nmol/l) en comparación a la menor duración (incremento de 3 nmol/l) (Ntovas et al., 2022). Otros estudios similares encontraron un incremento en el IGF-1 de 10 pmol/l en sujetos entrenados tras un esfuerzo máximo, pero tan solo al ser medido en saliva, ya que en plasma no se logró observar la misma respuesta (Antonelli et al., 2009). El efecto crónico de la concentración de IGF-1 en humanos ha sido menos estudiado, debido que según el siguiente metaanálisis (De Sousa Fernandes et al., 2020), se han centrado principalmente en el análisis de otra neurotrofinas como el GDNF, NGF, NT-3, NT-4 y el BDNF. A pesar de ello, se debe conocer que el incremento de



neurotrofinas tales como el BDNF se produce debido a la señalización celular de TrkB, VEGF y el IGF-1 (Hurtado et al., 2017). Por ello, es importante conocer el efecto del ejercicio físico, de forma aguda y crónica, en la estimulación del IGF-1.

Por tanto, en la presente investigación se midió el efecto del entrenamiento HIIT sobre la respuesta de IGF-1 a un esfuerzo máximo tras 12 semanas de entrenamiento HIIT. Además, también se evaluó el efecto residual tras tres meses de *Follow-up* una vez completado los tres meses de entrenamiento.

Por otro lado, se ha comprobado el efecto agudo de un esfuerzo máximo en la respuesta de IGF-1 en los tres momentos de evaluación (T1, T2 Y T3). Los resultados previos existentes que han utilizado un HIIT o esfuerzo incremental hasta el máximo esfuerzo, no son clarificadores debido a las diversas variables que pueden incidir en la población de estudio. Cada una de estas mediciones dadas en la presente investigación han sido medidas en saliva. Aun así, el IGF-1 además es posible cuantificarlo a través de una muestra en plasma y en orina (Ryan et al., 1992).

Las glándulas salivales son órganos exocrinos, que producen una gran cantidad de fluidos. Esta secreción de saliva es regulada por el sistema nervioso autónomo. Así, a través de la saliva, los electrolitos y otras materias se trasladan desde las glándulas a la cavidad oral. Estas glándulas salivales son estimuladas por los nervios colinérgicos parasimpáticos y los adrenérgicos simpáticos (Ghannam & Singh, 2022), mostrando cada uno un efecto diferente en su secreción. Cuando el sistema neuronal simpático estimula la secreción de saliva, se compone mayormente de proteínas. Por otro lado, cuando el sistema parasimpático estimula la secreción de saliva, suele aumentar su volumen. (Chicharro et al., 1998). De esta forma, el análisis de la respuesta hormonal durante el ejercicio puede proporcionar información relevante sobre el esfuerzo, la adaptación y el

rendimiento del ejercicio el ejercicio físico (Ntovas et al., 2022) ya que se ha sugerido que esta práctica incrementa la tasa de flujo salival y la secreción de proteínas (Ligtenberg et al., 2015).

A pesar de las diferentes posibilidades de medición de IGF-1, debemos ser cautelosos en la interpretación, ya que se ha observado cómo al comparar las concentraciones de IGF-1 en plasma y en saliva en una misma población, se encuentran diferencias entre ellas (Palo et al., 2007). Esto se debe a que la saliva se constituye de 99% agua y 1% de componentes inorgánicos y orgánicos. Por este motivo, los niveles de IGF-1 medidos en saliva suelen mostrar bajas concentraciones en comparación con el suero (Ntovas et al., 2022).

Por este motivo, es posible que pocos estudios hayan medido IGF-1 en saliva, ya que, al darse concentraciones más reducidas, el efecto del ejercicio físico en la concentración de IGF-1 debe ser notorio para que muestre una significancia frente al estado inicial.

La concentración inicial de IGF-1 en saliva de nuestra población fue de 1.2 ng/ml para el grupo HIIT y HIIT+AF y 1.1 ng/ml en Control. Teniendo en cuenta los limitados datos de la literatura científica, nuestros datos presentan una mayor concentración en estado basal en comparación con la investigación de Antonelli et al. (2007) ( $0.20 \pm 0.05$  ng/ml), cuya muestra disponía de características similares a las aquí analizadas. Por otro lado, los resultados de Ryan et al. (1992) muestran concentraciones basales más próximas a las alcanzadas en el presente estudio ( $0.52 \pm 0.37$  ng/ml), aunque en esta ocasión, la muestra quedó conformada por adolescentes. Estas diferencias pueden deberse a la falta de homogeneidad entre las diferentes investigaciones en variables como edad, masa corporal o nivel de condición física.

Respecto a la sensibilidad de la medición, los estudios anteriores mostraron valores de 0.05 y 0.07 ng/ml, siendo estos similares a los obtenidos en este trabajo (0.05 ng/ml).

### 7.3.1. Sobre el efecto crónico de IGF-1.

A continuación, se van a analizar los resultados encontrados en la concentración de IGF-1 pasados los tres meses de entrenamiento y tras el periodo de *Follow-up*.

Tal y como se planteaba en las hipótesis iniciales, pasados los 3 meses de entrenamiento, tanto en el grupo HIIT como el HIIT+AF se dieron cambios significativos en las concentraciones de IGF-1 obtenidas antes del esfuerzo máximo (HIIT:  $p=0.002$ ,  $d = 0.96$ ,  $\Delta=29.6$ ; HIIT+AF:  $p<0.001$ ,  $d = 0.78$ ,  $\Delta=28.8$ ) (Tabla 13).

La respuesta del IGF-1 ante el ejercicio ha mostrado no tener una respuesta única, encontrando resultados contradictorios en muchas de las investigaciones realizadas (Yau et al., 2014). Estudios previos con jóvenes adultos, han sugerido que la intensidad del ejercicio es fundamental para la liberación de hormonas de crecimiento, también de IGF-1, ya que la magnitud del efecto se eleva de forma lineal a la vez que se incrementa la intensidad del ejercicio (Pritzlaffroy et al., 2002), incidiendo este incremento en el cerebro y en sus elementos estructurales y funcionales (Stein et al., 2018). A pesar de ello, hay estudios que no han encontrados diferencias en la concentración del IGF-1 tras la aplicación de HIIT o incluso se han llegado a observar disminuciones en sus niveles periféricos (Wahl et al., 2010).

Sorprende que en el grupo control, se hayan observado también cambios estadísticamente significativos en la concentración de IGF-1 tras el programa de entrenamiento ( $p<0.001$ ,  $d = 0.94$ ,  $\Delta=44.7$ ). De nuevo, estos cambios podrían atribuirse a una gran variabilidad en los cambios experimentados por este metabolito.

Las mediciones de IGF-1 han mostrado cierta variabilidad biológica intraindividual que (10% y 36%) (Granada Ybern et al., 2014). Esto podría explicar en parte el cambio dado en el GC. Para poder reducir la variabilidad de las mediciones, todas las evaluaciones se realizaron a la

misma hora, en un estado de ayuno, sin poder ingerir ningún líquido y sin realizar esfuerzos físicos los días previos para así lograr minimizar esta variabilidad. Además, en el estudio de Antonelli et al., (2007), se ha podido conocer otra posible variabilidad en la medición del IGF-1. En este trabajo se puede observar que tras analizar el efecto del ejercicio intenso sobre la concentración de IGF-1 medido en suero y plasma en una misma población, se daba una correlación entre ambas mediciones en la evaluación post ejercicio y no en situación de reposo.

Estos hallazgos pueden explicar, en parte, los resultados contradictorios que hemos podido ver en el GC, el cual, en su estado pre-esfuerzo en T2, obtuvieron cambios significativos en la concentración de IGF-1 aun sin haber desarrollado el programa de entrenamiento.

En relación a la concentración de IGF-1 post-esfuerzo, ningún grupo obtuvo cambios significativos en T2 en comparación a los valores en T1. Aun así, tanto en el grupo HIIT ( $p=0.08$ ,  $d = 0.91$ ,  $\Delta 71.9\%$ ) como en HIIT+AF ( $p=0.056$ ,  $d = 0.35$ ,  $\Delta 70.9\%$ ) se observa una tendencia hacia la significancia, que no se aprecia en el GC ( $p=0.271$ ). Estos resultados nos hacen pensar que un mayor tamaño muestral podría, quizás, haber arrojado cambios significativos en ambos grupos experimentales. Por otro lado, el efecto del HIIT en la concentración del IGF-1 ha mostrado diferentes resultados según el momento de evaluación, obteniendo una mayor respuesta entre los 15-30 minutos tras acabar el ejercicio. En esta ocasión, se midió justo tras acabar el esfuerzo intenso, por lo que, si se hubiera aplicado una evaluación posteriormente, quizás se podrían haber encontrado mayores niveles en la concentración de IGF-1 (Lambourne & Tomporowski., 2010).

Por último, si observamos el efecto residual en estado basal pasados los 3 meses tras el fin del programa de entrenamiento (Tabla 13) tan solo los grupos HIIT ( $p=0.036$ ,  $d = 0.42$ ,  $\Delta 50.5\%$ ) y HIIT+AF ( $p=0.03$ ,  $d = 0.48$ ,  $\Delta 77.3$ ) consiguen cambios significativos al comparar la concentración de IGF-1 en T2 frente al GC. Por tanto, se observa que los dos grupos que realizaron

el programa de entrenamiento consiguieron un cambio significativo en la concentración de IGF-1 pasados los 6 meses respecto al estado inicial (HIIT  $p=0.004$ ,  $d = 0.58 \Delta 88.4$ ; HIIT+AF= 0.003,  $d = 0.67$ ), siendo el grupo HIIT+AF el que consigue mayor porcentaje de cambio ( $\Delta=117\%$ ). Estos resultados obtenidos parecen alinearse con los encontrados por Antonelli et al., (2007), quienes observan que una mejor condición física dispone de una mayor concentración de IGF-1 en saliva.

De esta forma, los hallazgos encontrados nos hacen ver que la concentración de IGF-1 se mantuvo elevada pasados los 3 meses de *Follow-up*. Esta respuesta puede ser debida a la intensidad dada en el programa de entrenamiento. El HIIT se comporta en el organismo como un estresor físico, el cual podría afectar a los diferentes eventos de respuestas inmunes, los cuales son articulados por diversos mecanismos (Lasasi & Adeniyi, 2016). Por tanto, las adaptaciones a estas respuestas inmunes pueden generar una adaptación a medio plazo, sin encontrar beneficios agudos. Por ello, estos resultados nos muestran que el efecto crónico del HIIT en la concentración de IGF-1 puede darse en mayor medida pasadas unas semanas tras el fin de programa de entrenamiento.

### **7.3.2. Sobre la respuesta aguda de IGF-1.**

Estudios previos han mostrado reducciones, aumentos y hasta ausencia de cambios en la concentración de IGF-1 tras el ejercicio (De Alcantara Borba et al., 2020). Esto se debe al complejo sistema dado entre su producción y la acción mecánica que lo estimula, y que además, variables como la composición corporal, nivel de condición física, dieta, otras hormonas y volumen plasmático indican directamente en su nivel de concentración (De Alcantara Borba et al., 2020).

En nuestro estudio la respuesta aguda de la concentración de IGF-1 en la evaluación inicial (T1) (Tabla 13) mantuvo un esquema similar en los grupos HIIT y HIIT+AF al comparar la concentración pre y post esfuerzo máximo en cicloergómetro ( $p=0.747$ ,  $d = 0.21 \Delta=-1.32$ ;  $p=0.444$ ,

$d = 0.22$   $\Delta=6.07$  respectivamente). Sin embargo, en el GC encontramos diferencias estadísticamente significativas, donde las concentraciones en la medición pre esfuerzo fueron menores que las obtenidas tras el esfuerzo máximo ( $p=0.043$ ,  $d = 0.31$ ,  $\Delta=21.87$ ).

Esta diferencia puede estar relacionada con la condición física del sujeto. Como vimos anteriormente, en sujetos con un mejor rendimiento físico se observaba una mayor concentración de IGF-1 (Antonelli et al. 2007), por lo que la condición física puede ser una variable a tener en cuenta dentro de los valores de IGF-1. En la Tabla 9 se puede observar que, aun sin mostrar diferencias, el GC presentaba una mejor condición física en todas las variables físicas estudiadas en comparación con los grupos HIIT y HIIT+AF, aunque estas no llegaban a ser estadísticamente significativas entre grupos.

Una vez completado el programa de entrenamiento (T2), ninguno de los tres grupos manifestó cambios significativos tras la ejecución de un esfuerzo máximo. Aun así, el grupo HIIT+AF fue el grupo que obtuvo una mayor concentración de IGF-1, por lo que fue el grupo que obtuvo una mayor diferencia frente a los valores de T1 ( $\Delta 50.13\%$ ). El GC, en esta ocasión, no mostró cambios tras el esfuerzo ( $p=0.55$ ).

Como se indicaba con anterioridad, un aumento en la condición física podría modular las concentraciones de IGF-1 en mujeres (Eliakimt et al. 1996). En el presente estudio los grupos HIIT y HIIT+AF consiguieron diferencias estadísticamente significativas en el  $VO_2\max$  (HIIT  $p=0.006$ ,  $d = 0.76$ ,  $\Delta 17.9\%$ ; HIIT+AF  $p=0.004$ ,  $d = 0.73$ ,  $\Delta 17.6\%$ ).

En esta ocasión, a pesar de los beneficios obtenidos el  $VO_2\max$  en los grupos de intervención, la posible explicación de no encontrar ninguna relación entre la respuesta de IGF-1 y los aumentos en el  $VO_2\max$  puede deberse al momento de la evaluación post esfuerzo.

Al igual que ocurrió en nuestros hallazgos, estudios similares han encontrado resultados bastante parecidos (De Alcantara Borba et al., 2020; Weaver et al., 2021), en relación al efecto agudo. Por otro lado, otros trabajos han observado un descenso en la concentración de mioquinas tras un esfuerzo máximo (Gmiat et al., 2017).

Una posible explicación del descenso de IGF-1 se debe a un retraso en su producción, ya que primero se precisa la generación de una síntesis y secreción de la hormona de crecimiento para que luego se produzca la síntesis y liberación de IGF-1 (Goekint et al., 2010). Así, cuando el entrenamiento es de mayor duración se ha observado una mayor sensibilidad al cambio de la concentración de IGF-1 (De Alcantara Borba et al., 2020).

En cuanto al efecto agudo sobre el metabolismo del IGF-1, es necesario tener en cuenta que el ejercicio no solo afecta a la concentración total de IGF-1, sino que el efecto también es impulsado hacia sus portadores, IGBP1, IGFBP6 y IGFBP3, siendo este último el que representa el 80% del total, por lo que se trata del principal transportador de IGF-1 en sangre (Consitt et al., 2002). Como resultado, se han encontrado incrementos en la concentración de IGFBP1 pasados 20 minutos de un esfuerzo máximo (Nguyen et al., 1998) y tras 20 y 30 minutos (Brahm et al., 1997) en IGFBP3, pero no en el IGF-1 total.

Por último, tras los tres meses del periodo de *Follow-up*, al igual que en la evaluación post, ningún grupo obtuvo cambios significativos tras realizar un esfuerzo máximo.

Como conclusión sobre el efecto agudo de un esfuerzo máximo sobre la concentración de IGF-1 en saliva, todo parece indicar que no existe una carga de ejercicio determinada para generar cambios en el IGF-1, ya que ejercicios de baja o alta intensidad, corta o larga duración o incluso desarrollados con pequeños o grandes grupos musculares, son capaces de incrementar la

concentración de IGF-1. En cualquier caso, el HIIT se presenta como una estrategia válida para incrementar de forma aguda la concentración de IGF-1.

#### **7.4. Sobre cambios en las funciones ejecutivas.**

El efecto del ejercicio físico en las funciones ejecutivas en adultos jóvenes se conoce a través de recientes metaanálisis (Haverkamp et al., 2020). A través de los resultados de este metaanálisis se observa que el efecto agudo del ejercicio físico en las funciones ejecutivas en general muestra un tamaño del efecto moderado ( $g$  de Hedges=0.29; 0.95% IC 0.19-0.40) en esta población. Si se analizan estas funciones ejecutivas de forma aislada, se comprueba que el control inhibitorio obtuvo un efecto moderado ( $g$  de Hedges=0.32; 0.95% IC 0.20-0.44), al igual que la flexibilidad cognitiva ( $g$  de Hedges=0.37; 0.95% IC 0.00-0.75). Por último, la memoria de trabajo no obtuvo cambios tras un esfuerzo agudo ( $g$  de Hedges=0.14; 0.95% IC 0.11-0.39).

Siguiendo con los resultados del anterior metaanálisis, en el caso del efecto crónico del ejercicio físico en las funciones ejecutivas en general, se muestra un tamaño del efecto moderado ( $g$  de Hedges=0.35; 0.95% IC 0.21-0.50). Analizando cada una de ellas, la memoria de trabajo mantiene un gran tamaño del efecto ( $g$  de Hedges = 0.59; IC del 95%: 0.27 a 0.90), la flexibilidad cognitiva arroja un efecto significativo de pequeño tamaño ( $g$  de Hedges=0.19; 0.95% IC 0.05-0.33) y, por último, el control inhibitorio no mantuvo ningún efecto ( $g$  de Hedges = 0.16; IC del 95%: 0.05 a 0.36).

Este metaanálisis nos plantea la difícil situación que presenta el efecto del ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas, ya que como se puede observar dicho efecto se manifiesta en diferentes magnitudes según cada una de las funciones ejecutivas y según el tipo de efecto, ya sea agudo o crónico.



Por estos motivos, actualmente, aún siguen existiendo dudas sobre el posible efecto del entrenamiento HIIT sobre las funciones ejecutivas en una población de jóvenes adultos sanos y especialmente en el género femenino (Gmiat et al., 2017). Por ello, a continuación, se pretende dar respuesta a dicha cuestión través de los resultados encontrados en la presente investigación.

#### **7.4.1. Control inhibitorio.**

Según los resultados encontrados en la prueba de ST, cuando comparamos los datos de las evaluaciones T1 y T2, podemos observar en la Tabla 14, que tanto el grupo HIIT+AF como el HIIT obtuvieron mejoras significativas en el tiempo empleado en la prueba ST-I-T, la cual mide el tiempo empleado en la interferencia en el control inhibitorio (HIIT,  $p=0.002$ ,  $d$  Cohen 0.59; HIIT+AF,  $p=0.028$ ,  $d$  Cohen 0.81). A pesar de esta reducción en el tiempo empleado, tan solo el grupo HIIT+AF consiguió un mayor acierto respecto a la evaluación pre. Aunque éstos no llegaron a ser estadísticamente significativos, podemos decir que tan solo el grupo HIIT+AF consiguió mayor eficiencia en la prueba ST, ya que consiguieron un mayor número de aciertos y reducir el tiempo en la prueba.

Aunque en el metaanálisis citado anteriormente (Haverkamp et al., 2020) se habla de un nulo cambio en el control inhibitorio tras un programa de entrenamiento, a través de nuestros resultados, podemos observar que el HIIT puede ser una buena estrategia para mejorar dicha función ejecutiva.

Estos resultados son similares a los encontrados en el metaanálisis de Hsieh et al., (2020), donde a pesar de los 23 estudios incluidos en este trabajo con diferentes edades, tan solo uno reportó mejoras en el control inhibitorio tras aplicar un programa de alta intensidad de sólo dos semanas en una población universitaria (Sousa et al., 2018).

En este mismo estudio y al igual que en investigaciones previas (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013; Wang et al., 2016), se sugiere que la condición física aeróbica se correlaciona positivamente con un mejor rendimiento en la atención y en el control inhibitorio. Anteriormente, al abordar el efecto agudo en la concentración de IGF-1, se pudo observar la misma correlación. Estos motivos, de algún modo pueden llegar a justificar las mejoras dadas en el grupo HIIT+AF, ya que a pesar de que ambos grupos realizaron el mismo programa HIIT, éste fue el único grupo que obtuvo un cambio estadísticamente significativo en el  $VO_2\text{max}$  tras el programa de entrenamiento.

Anteriormente, al hablar de la concentración de IGF-1 tras un esfuerzo agudo, se pudo observar esta misma correlación. Estos motivos pueden explicar Por ello, se debe destacar de nuevo que el grupo HIIT+AF fue el único que obtuvo un cambio estadísticamente significativo en el  $VO_2\text{max}$  tras el programa de entrenamiento.

Al comparar los resultados tras el periodo de *Follow-up* con la evaluación post, no encontramos diferencias estadísticamente significativas en los tres grupos en ninguna de las dos pruebas ST.

Respecto al efecto agudo, si analizamos nuestros resultados en la evaluación T1, el grupo HIIT+AF consigue un cambio significativo en la prueba ST-A ( $p=0.001$ ,  $d = 0.59$ ), reduciendo levemente el tiempo en su ejecución ( $p=0.06$ ,  $d = 0.54$ ), por lo que obtiene una mayor eficiencia en esta función ejecutiva.

En la evaluación T2, tan solo el grupo CON consigue diferencias significativas tanto en ST-I-T como en ST-I-A ( $p=0.001$ ,  $d = 0.74$ ;  $p=0.002$ ,  $d = 0.63$ ), siendo esta diferencia significativa con el grupo HIIT+AF. Por último, en la evaluación T3, se observa en el grupo CON un cambio significativo en ST-A ( $p=0.017$ ,  $d = 0.019$ ) pero necesitando más tiempo para su desarrollo. Esto

hace que las mejoras dadas en ST-A pueden ser debidas a un mayor tiempo en su ejecución. Por ello, podemos concluir que ningún grupo consigue una mayor eficiencia en la prueba ST.

Por tanto, podemos observar cómo en la evaluación T1 el grupo HIIT+AF se consiguen ciertas mejoras en ST, mientras que en la evaluación T2 el grupo CON consiguió un mayor rendimiento en el control inhibitorio. Estos resultados son similares a los obtenidos en el metaanálisis de Lambourne & Tomporowski, (2010), donde no se observó un tamaño del efecto grande en el control inhibitorio tras un esfuerzo máximo ( $d=0.20$ ). A pesar de estos resultados, otros metaanálisis han mostrado un mayor efecto en el control inhibitorio tras un esfuerzo intenso (Pontifex et al., 2019).

Esto nos lleva a considerar que el efecto agudo del control inhibitorio no muestra resultados clarificadores ni homogéneos. Al igual que ocurría con la concentración de IGF-1, se ha encontrado variabilidad en el rendimiento ejecutivo según el momento de su evaluación (5, 10, 20 y 30 minutos post esfuerzo) (Chang et al., 2012).

A través este metaanálisis (Chang et al., 2012), todo parece indicar que en los primeros 10 minutos tras el esfuerzo, el efecto es insignificante. Después de los 11-20 minutos del ejercicio, puede ser negativo y, por último, después de los 20 minutos se encuentran resultados positivos.

Por todo ello, aunque hemos encontrado ciertos cambios en el rendimiento en la prueba ST, se plantea si el efecto pudiera haber sido más elevado pasado al menos 20 minutos tras la finalización del esfuerzo.

#### **7.4.2. Flexibilidad cognitiva.**

En los resultados de la presente investigación, se observa que, tras finalizar el programa de entrenamiento, los grupos HIIT y HIIT+AF consiguieron cambios significativos en la variable

WCST-A (HIIT  $p=0.001$ ,  $d=0.9$ ; HIIT+AF  $p=0.008$ ,  $d=0.65$ ). En relación a los datos encontrados tras los 3 meses de *Follow-up*, se puede observar en la Tabla 15 cómo los grupos HIIT y HIIT+AF obtuvieron de igual forma mejoras estadísticamente significativas (HIIT  $p=0.001$ ,  $d=0.91$ ; HIIT+AF  $p=0.002$ ,  $d=0.9$ ).

A pesar de las diferencias en los aciertos, ningún grupo consiguió un incremento significativo en WCST-C tras finalizar el programa de entrenamiento. Estos datos son similares a los ofrecidos en el metaanálisis de Haverkamp et al., (2020) donde se observa un bajo efecto en la variable estudiada ( $g$  de Hedges=0.19), mostrando así la baja interacción mencionada anteriormente.

Aun así, si comparamos el rendimiento en la prueba anteriormente mencionada tras el periodo de *Follow-up* frente al estado inicial (T3-T1), tan solo el grupo HIIT+AF consiguió un cambio estadísticamente significativo ( $p=0.005$ ,  $d=0.62$ ,  $\Delta=31.5\%$ ).

Respecto a la cantidad de errores persistentes encontrados durante la ejecución de las pruebas, la Tabla 15 muestra que el grupo CON fue el único que consiguió reducir los fallos persistentes más propios de un fallo en la flexibilidad cognitiva ( $p=0.020$ ).

Por tanto, al igual que observamos anteriormente con el control inhibitorio, a través de estos resultados se comprueba que la flexibilidad cognitiva se ve mejorada tras los 3 meses de entrenamiento, teniendo un mayor efecto el grupo HIIT+AF.

En estudios previos, se ha comprobado que este dominio de la función ejecutiva no ha mostrado grandes cambios tras un programa de ejercicio físico (Haverkamp et al., 2020). Centrándonos en el efecto del HIIT en las funciones ejecutivas en adultos jóvenes, de los 6 estudios que se centraban en el HIIT en un reciente metaanálisis (Hsieh et al., 2020), no se pudieron comprobar cambios relevantes en la flexibilidad cognitiva (Eather et al., 2019). A pesar de estos

resultados, se debe cuestionar si la adaptación neuronal debido al estímulo del ejercicio físico crónico se da a corto o a medio-largo plazo. Por ello, sería recomendable que las futuras investigaciones incluyeran una evaluación de *Follow-up* pasados varios meses del fin del programa de entrenamiento.

Teniendo en cuenta los resultados de nuestra investigación, todo parece indicar que tras este periodo de *Follow-up* puede darse un mayor incremento en el rendimiento ejecutivo en comparación con los resultados obtenidos en T2.

En relación al efecto agudo, en la presente investigación no se ha encontrado ningún efecto sobre la flexibilidad cognitiva. Estos resultados van en línea a lo mostrado en los metaanálisis de Haverkamp et al., (2020) y Chang et al. (2012), ya que a través de los estudios analizados, no parecen darse cambios en el efecto agudo de la flexibilidad cognitiva.

#### **7.4.3. Memoria de trabajo.**

La memoria de trabajo ha sido la función ejecutiva que ha mostrado un mayor impacto tras un programa de entrenamiento en adultos jóvenes (Haverkamp et al., 2020; Rathore & Lom, 2017) En la presente investigación, tras comparar el mismo efecto, pero a través de entrenamiento HIIT, se pueden llegar a conclusiones similares a las ofrecidas en los estudios previos.

El grupo HIIT ha mostrado cambios significativos en la evaluación T2-T1, tanto en la prueba DST-I ( $p=0.001$ ,  $d = 0.98$ ,  $\Delta=23.6\%$ ), donde se requiere un mayor esfuerzo en la memoria de trabajo, como en DST-T ( $p < 0.001$ ;  $d = 0.89$ ;  $\Delta=14.8\%$ ).

Al comparar el efecto T3-T1 en el grupo HIIT, se encontraron cambios significativos en ambas pruebas, teniendo DST-I una significancia de  $p=0.018$  ( $d = 0.52$ ;  $\Delta=13.9\%$ ) y en DST-T

$p=0.008$  ( $d = 0.56$ ;  $\Delta=24.7\%$ ). De nuevo se vuelve observar un mayor efecto pasados los tres meses de *Follow-up* en comparación a los valores tras finalizar el programa de entrenamiento.

En relación a la Tabla 16, se deben destacar los resultados dados en el grupo CON en la evaluación T3, ya que dicho grupo obtuvo cambios significativos frente al estado inicial en la prueba DST-I ( $p=0.039$ ;  $d = 0.41$ ;  $\Delta 29\%$ ). Por tanto, estos resultados se alejan de la hipótesis planteada en nuestra investigación en relación a la memoria de trabajo. Aun así, se debe tener presente que el efecto en la cognición es multifactorial. Por tanto, con la intención de reducir esta incidencia en la cognición, se establecieron ciertos criterios de exclusión. Aun así, puede ocurrir que variables como las exigencias académicas dadas durante todo el programa, hayan podido incidir en el rendimiento ejecutivo.

Si comparamos nuestros resultados con otros estudios, se observan resultados diversos, ya que por ejemplo, en el estudio de Zhang et al. (2021) tras 6 semanas de entrenamiento HIIT de forma online con mujeres jóvenes sedentarias, no observaron cambios significativos en la memoria de trabajo frente al GC. Otros estudios, tampoco obtuvieron cambios en la memoria de trabajo, aunque en estos trabajos se evaluó a una población adolescente, por lo que esto puede explicarse debido a la edad de la muestra (Álvarez-bueno et al., 2017; Xue, 2019).

El efecto crónico del HIIT como factor neuroprotector ha sido bastante estudiado en los últimos años. Así, se ha podido considerar a través de diversos estudios experimentales cómo el ejercicio HIIT puede potenciar la actividad celular del giro dentado del hipocampo, induciendo a factores neurotróficos como el IGF-1 como modulador la plasticidad sináptica del hipocampo, favoreciendo así el aumento del volumen del hipocampo y el crecimiento de los vasos sanguíneos de esta zona cerebral. De esta forma, las mejoras en la memoria de trabajo podrían ser moduladas por los cambios producidos en el hipocampo (Gomez-Pinilla & Hillman, 2013).

Por otro lado, al analizar el efecto agudo de un esfuerzo intenso en la memoria de trabajo, la literatura nos muestra resultados similares a la flexibilidad cognitiva, es decir, escaso o nulo efecto en su rendimiento inmediatamente post ejercicio. En nuestro estudio, tan solo el grupo HIIT consiguió mejorar el rendimiento en DST-T en la evaluación T1 ( $p=0.036$ ;  $d$  Cohen 0.46). Aun así, tras completar el programa de entrenamiento, no se dieron cambios significativos en ningún grupo evaluado en ninguna de las variables estudiadas en el Digit Span Test.

Sin embargo, en el estudio de Diego-Moreno et al., (2022) en el cual se desarrolló un entrenamiento HIIT y no un esfuerzo incremental hasta el agotamiento, sí se observaron cambios significativos en la memoria de trabajo, evaluado en esta ocasión con el test N-back. Además, en el efecto agudo se ha podido observar que aunque la concentración de diversas mioquinas relacionadas con la cognición no se vea incrementada, la memoria de trabajo sí obtuvo un incremento en el resultado en pruebas funcionales (Gmiat et al., 2017).

### **7.5. Sobre los cambios en la composición corporal.**

El entrenamiento HIIT es un tipo de entrenamiento que ha manifestado una reducción del peso corporal y tejido adiposo en mujeres tanto con normopeso, sobrepeso y obesidad (Dupuit et al., 2020).

Según los resultados de un reciente metaanálisis, se muestra que al menos 8 semanas deben ser necesarias para crear cambios en la composición corporal en mujeres, siendo el ejercicio en cicloergómetro el más efectivo (Dupuit et al., 2020).

En lo referente a las características generales de la muestra, tal y como se muestra en la Tabla 17, en T1 no se encontraron cambios estadísticamente significativos entre grupos. La

población contaba con valores elevados de grasa, siendo estos cercanos a un 30% y con un perímetro de cintura superior a 80 cm.

Respecto a los resultados encontrados, tan solo el grupo HIIT+AF obtuvo diferencias significativas al comparar el peso inicial ( $p=0.049$ ;  $d = 0.39$ ) y el IMC ( $p=0.045$ ,  $d = 0.41$ ) con el peso tras el periodo de *Follow-up*.

En relación al porcentaje de grasa, todos los grupos consiguieron reducir el porcentaje de grasa de forma significativa tras los tres meses de entrenamiento. Esto puede ser debido a que en este estudio no se incidió en el control absoluto de la alimentación. Por tanto, esta puede ser la razón por el cual se da este cambio en el porcentaje de grasa en el GC, ya que en los grupos HIIT y HIIT+AF si se esperaba dicha reducción.

Si comparamos los resultados tras el periodo de *Follow-up*, podemos observar que ambos grupos del programa de entrenamiento consiguieron reducir el porcentaje de grasa de forma significativa respecto al estado inicial. Por tanto, se puede observar cómo un programa de entrenamiento HIIT puede generar cambios significativos en el porcentaje de grasa corporal, siendo similar en los grupos HIIT y HIIT+AF, siendo el cambio del 6.7% ( $d = 1.03$ ) y 8.6% ( $d = 0.81$ ) tras los 3 meses de entrenamiento. Además, tras comparar el cambio tras el periodo de *Follow-up* frente al estado pre, de igual forma ambos grupos mantuvieron dichas mejoras (HIIT  $d = 0.67$ ,  $\Delta 5\%$ ; HIIT+AF  $d = 0.58$ ,  $\Delta 5.7\%$ ). El GC tan solo lo redujo en 1.6%.

## **7.6. Sobre los cambios en la condición física.**

Respecto a los cambios dados en la condición física, y más concretamente en la masa muscular, los grupos HIIT+AF y HIIT consiguieron un mayor efecto tras el programa HIIT, incrementando su porcentaje de masa muscular en un 4.1% ( $p=0.001$ ;  $d = 1.01$ ) y 3.5% ( $p=0.001$ ;



$d = 0.81$ ) respectivamente. El GC, a pesar de no realizar ningún tipo de AF de forma controlada y planificada, mostró un cambio del 2% ( $p=0.041$ ;  $d = 0.52$ ).

Si comparamos el efecto a largo plazo (T3-T1), podemos ver que en esta ocasión el efecto significativo se da en el grupo HIIT ( $p=0.010$ ,  $d = 0.65$ ,  $\Delta=2.7\%$ ) y en HIIT+AF ( $p=0.005$ ,  $d = 0.59$ ,  $\Delta=2.8\%$ ).

A pesar del incremento del porcentaje de masa muscular, al observar el rendimiento en las pruebas de valoración física (Tabla 18), no existe un claro efecto en las variables de fuerza. En la prueba de prensión manual, tan solo el grupo HIIT+AF consiguió un efecto significativo en comparación con el estado inicial tanto tras el periodo de entrenamiento ( $p=0.045$ ;  $d = 0.37$ ;  $\Delta=8.2\%$ ) como tras el periodo de *Follow-up* ( $p=0.028$ ;  $d = 0.44$ ;  $\Delta=8.5\%$ ).

Respecto a los valores de fuerza isométrica en las piernas, nos encontramos con un descenso en el rendimiento en todos los grupos en ambas piernas, siendo significativo la reducción del rendimiento en el grupo HIIT con la pierna derecha tanto en la evaluación post ( $p=0.002$ ) como tras el periodo de *Follow-up* ( $p=0.004$ ). El GC también obtuvo un descenso significativo tras el periodo de *Follow-up* ( $p=0.016$ ).

Por último, en relación al  $VO_{2max}$  si podemos observar un claro efecto en ambos grupos HIIT. Tanto el grupo HIIT como HIIT+AF consiguieron un incremento significativo en el  $VO_{2max}$  al comparar la evaluación post frente a la evaluación pre (HIIT  $p=0.006$ ;  $d = 0.76$ ;  $\Delta 17.9\%$ ; HIIT+AF  $p=0.004$ ;  $d = 0.73$ ;  $\Delta 17.6\%$ ).

Estas mejoras no se mantienen en el tiempo, ya que pasados los 3 meses de entrenamiento ambos grupos sufren un descenso significativo frente a los valores obtenidos en la evaluación Post (HIIT  $p=0.011$ ;  $d = 0.63$ ;  $\Delta -11\%$ ; HIIT+AF  $p=<0.001$ ;  $d = 0.93$ ;  $\Delta -15\%$ ).

### **7.7. Sobre los cambios en calidad de vida.**

El rol de la AF como factor protector contra desequilibrios y enfermedades mentales, tales como depresión, estrés, ansiedad, etc., está bien documentadas en jóvenes universitarios. Por ello, se conoce que la inactividad física se relaciona con una peor percepción de calidad de vida, especialmente con la salud mental (Gerber et al., 2014). Es decir, los jóvenes que se mueven menos, suelen percibir peor su calidad de vida, o algunas de sus dimensiones (Nowak et al., 2019).

En el presente estudio se ha observado que el grupo HIIT en comparación con el GC es capaz de incrementar significativamente la calidad de vida de las mujeres, expresada a través de la puntuación obtenida en el SF-36, mejorando principalmente la salud general y la salud mental.

El efecto de este tipo de ejercicios de alta intensidad sobre la calidad de vida ha sido estudiado anteriormente, observándose que la alta intensidad se correlaciona con una mejor percepción de la calidad de vida en la población femenina. Esto puede ser debido al efecto producido por la intensidad, generando un sentido de euforia, descenso de la percepción del dolor, incremento del efecto opioide entre otros. Además, la actividad vigorosa puede tener un mayor efecto protector cardiometabólico que la AF moderada o ligera (Marín-Jiménez et al., 2020).

Por estos motivos, la AF intensa se ha convertido en una perfecta herramienta con alta efectividad tiempo-eficiencia para producir tanto adaptaciones centrales como periféricas, quedando incluso relacionado con una mejor percepción de la salud física y salud mental en jóvenes adultos (Gerber et al., 2014).

Por otro lado, a través del metaanálisis de Bize et al., (2007) y la revisión sistemática de Gerber et al., (2014) se conoce que en la población adulta la AF ligera y vigorosa encuentran un incremento en la calidad de vida, pero este efecto es menor a través del ejercicio moderado. Por tanto, estos resultados van en línea a lo encontrado en nuestra investigación, ya que podemos

observar cómo el grupo HIIT+AF en comparación con el resto de grupos, obtuvo un mayor efecto en varias de las dimensiones de la calidad de vida en diferentes momentos de la investigación.

Tras el periodo de entrenamiento, el grupo HIIT+AF obtuvo un incremento significativo en la vitalidad ( $p=0.0024$ ;  $d = 0.52$ ;  $\Delta 17\%$ ), salud general ( $p=0.001$ ;  $d = 1.2$ ;  $\Delta=33\%$ ) y salud mental ( $p=<0.001$ ;  $d = 1.24$ ;  $\Delta=33.4\%$ ). Pasados los 3 meses de *Follow-up*, este grupo mostró un cambio significativo frente al estado inicial en el rol emocional ( $p=0.018$ ;  $d = 0.63$ ;  $\Delta=35.7\%$ ). Así, estos resultados son apoyados de igual forma en el estudio de Daskapan et al, (2005), ya que se observa una correlación positiva entre el gasto energético con la salud mental y vitalidad en una población universitaria. Otros estudios, como el de Flor-alemany (2020), muestran que una reducción del tiempo en posición sedentaria en mujeres sedentarias, se correlaciona al igual que en nuestro estudio con mejoras en el rol emocional.

Por lo tanto, el incremento del número de pasos al día junto al programa HIIT puede ser una buena estrategia para mejorar la calidad de vida de la población universitaria.

Así vemos que tanto la intensidad del ejercicio como el gasto de energía quedan relacionados positivamente con la calidad de vida. Por otro lado, respecto a la duración del ejercicio, se ha observado una peor percepción de la calidad de vida en personas que practican AF de larga duración (>90 min por día). Por lo tanto, estos resultados sugieren una relación dosis-respuesta en forma de campana, por lo que puede existir una dosis e intensidad óptima para generar cambios significativos en esta población (Bize et al., 2007)

En los resultados encontrados en la presente investigación, se deben tener en cuenta diversos factores, los cuales han podido afectar en los resultados. En relación a la Función Social, se puede observar que se da un cambio significativo tan solo en el grupo CON tras el periodo de *Follow-up*. Es bien conocido que el ejercicio físico índice de forma positiva en esta dimensión

(Ramírez et al., 2004), aun así, en ambos grupos HIIT no se dan mejoras. Esto puede ser debido por un lado al miedo social y asilamiento existente durante el periodo de COVID-19 (Abrams & Szeffler, 2020) y por otro lado, al haberse realizado entrenamientos online, la falta de interacción social dada durante el periodo de entrenamiento entre los participante y entrenador.

Por otro lado, el rol emocional también se vio incrementado de forma significativa tras el periodo de *Follow-up* en todos los grupos. Los motivos pueden ser similares a los encontrados en la Función Social, ya que tanto el aislamiento como las restricciones en reuniones sociales se fueron eliminando de forma progresiva en el tiempo.

### **7.8. Sobre los cambios en la actividad física.**

Tras observar los resultados obtenidos tras los 3 meses de *Follow-up* (Tabla 19) respecto a los valores iniciales, podemos ver cómo tan solo el grupo HIIT+AF mantuvo un cambio significativo tanto en la AF ligera ( $p=0.009$ ;  $d = 0.6$ ) como en la total ( $p=0.001$ ;  $d = 1.04$ ) en comparación con el resto de los grupos. Por otro lado, el grupo HIIT, después de 12 semanas tras la finalización de los entrenamientos redujo la práctica de AF total, sin llegar a ser significativa esa reducción.

En este estudio, a pesar de no disponer de ningún software específico para el control y monitoreo de los pasos al día, cada integrante del grupo HIIT+AF debía comunicar los pasos cuantificados en el día según el dispositivo que dispusiera para su medición (móvil, bandas de muñecas, relojes con podómetros, etc.). Estudios previos que han cuantificado con un software específico, han observado un breve cambio en la cantidad de pasos al día generados (Y. Lu et al., 2022). Aun así, cabe destacar que el grupo HIIT+AF de la presente investigación tenía un feedback diario sobre los pasos conseguidos al día. Por tanto, ya sea por software específicos o bien por el

uso de dispositivos tecnológicos disponibles, la presencia de un control diario puede generar un incremento de pasos diarios.

Este sistema de medición (pasos al día) suele ser la forma más habitual de cuantificar la actividad física diaria. A pesar de su uso frecuente, estudios previos han estudiado en adultas jóvenes si este medio puede llegar a ser útil para que esta población realice las recomendaciones mínimas de AF diaria a intensidades moderada-vigorosa (Kumahara & Ayabe, 2019). Los resultados de este trabajo presentan que no se encontraron correlación entre los pasos obtenidos y el tiempo que los sujetos se encontraban por encima del umbral de lactado. Por tanto, posiblemente el uso de la cantidad de pasos al día no podría ser suficiente para conseguir mejoras en la condición física en estas edades. A pesar de estas conclusiones, se podría considerar el establecer un nivel mínimo de AF para cada sujeto en función de su nivel de condición física relativa y no crear recomendaciones absolutas basada en la población general (Ayabe et al., 2008).

Aun así, una vez visto que el incremento de pasos diarios puede no ser una estrategia efectiva para la mejora de la condición física, de forma paralela puede incidir en la mejora de la cognición y en las funciones ejecutivas de la población. Estudios previos han mostrado en personas mayores que un incremento de la actividad física diaria se relaciona con un descenso en el riesgo de disponer de un mayor deterioro cognitivo (Engeroff et al., 2018). Centrándonos en nuestra población de estudio, también se ha observado una alta correlación entre la cantidad total de pasos y el rendimiento en pruebas ejecutivas (Salas-Gomez et al., 2020).

A pesar de estos resultados, se desconoce la existencia de literatura científica en jóvenes adultas donde se contraste el efecto de un programa de intensidad vigorosa junto al incremento de la actividad física ligera en las funciones ejecutivas, condición física y composición corporal

# CONCLUSIONES

---

## 8. CONCLUSIONES.

1. El programa de entrenamiento HIIT+AF potencia en mayor medida el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva respecto al grupo HIIT. El grupo HIIT consigue un mayor efecto en la memoria de trabajo. Por lo tanto, se constata la primera hipótesis para para las funciones ejecutivas de control inhibitorio y flexibilidad cognitiva pero no en la memoria de trabajo.
2. El ejercicio interválico de alta intensidad produce un incremento significativo de IGF-1 similar entre HIIT y HIIT+AF en estado de reposo tras las 12 semanas de entrenamientos, pero no post esfuerzo. De esta forma se rechaza la segunda hipótesis
3. El grupo HIIT+AF consigue un mejor rendimiento en la resistencia cardiorrespiratoria y un mayor porcentaje de masa muscular en comparación al grupo HIIT. Aun así, no se da un mejor rendimiento en la aplicación de la fuerza. Por este motivo, se constata la hipótesis 3.
4. A excepción del peso e IMC, ambos grupos HIIT consiguen una reducción significativa de masa y un incremento en la masa muscular, por lo que se confirma la cuarta hipótesis.
5. El grupo HIIT+AF reporta un incremento significativo en el rol físico, salud mental y en la vitalidad tras las 12 semanas del programa de entrenamiento. Dado que este cambio en la calidad de vida no se da en el grupo HIIT, la quinta hipótesis debe rechazarse.

6. Como respuesta a un esfuerzo máximo, el rendimiento en el control inhibitorio llega a incrementar en T1 para el grupo HIIT+AF y en T2 en el GC. Dado que esta respuesta no se da en la flexibilidad cognitiva y en la memoria de trabajo, la hipótesis 6 no se puede aceptar.

7. Un esfuerzo máximo sobre cicloergómetro es capaz de incrementar de forma significativa la concentración de IGF-1 en saliva, aunque este no haya ocurrido de igual forma en todas las mediciones. En T1, hubo un incremento en la concentración de IGF-1 post esfuerzo en los 3 grupos evaluados. Así, la hipótesis séptima se puede aceptar.

8. El rendimiento en las pruebas ejecutivas no guarda relación con los niveles basales de IGF-1 de la población estudiada antes y después de completar el programa de entrenamiento. Por ello, se acepta la hipótesis octava.

9. Los niveles de IGF-1 en saliva post-esfuerzo en T1 y T2 no se relacionan con las puntuaciones obtenidas derivadas de las pruebas de evaluación de la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio justo después de un esfuerzo máximo. Esto nos hace aceptar la novena hipótesis.

10. Después del periodo de *Follow-up*, las funciones ejecutivas se mantienen por encima de las mostradas al inicio del programa, por lo que la décima hipótesis debe ser aceptada.



11. Tras 12 semanas de *Follow-up* después de acabar el programa de entrenamiento, la concentración de IGF-1 en estado basal y tras un esfuerzo máximo se incrementa. Por ello, se debe rechazar la undécima hipótesis.

12. Los efectos en la composición corporal pasados tres meses de *Follow-up*, en parte se vieron mejorados en los grupos HIIT, ya que el porcentaje de grasa fue reducido y la masa muscular fue incrementado tras el periodo de *Follow-up*. De esta forma la decimosegunda hipótesis debe ser rechazada.

13. Los efectos observados sobre la calidad de vida justo al finalizar los entrenamientos no se mantienen latentes 12 semanas después. De esta forma, se debe rechazar la hipótesis decimotercera.

14. Después de 12 semanas tras la finalización de los entrenamientos, el grupo HIIT+AF mantiene altos niveles de AF y además estos son superiores al resto de grupos, por lo que la decimocuarta hipótesis queda constatada.

# **NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN**

---

## 9. NUEVAS PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN.

Una vez analizado y discutidos los resultados, han surgido nuevas problemáticas de investigación, las cuales podrían dar sentido a los resultados encontrados y clarificar el efecto neuroprotector del IGF-1 y su efecto en las funciones ejecutivas.

Así, sería de especial interés seguir profundizando sobre el tiempo necesario que requiere el IGF-1 para adaptarse al estímulo del ejercicio físico de forma crónica, ya que en la presente investigación se pudo observar un incremento en su concentración tras el periodo de *Follow-up*. Además, sería de especial interés conocer si este tiempo de adaptación responde de igual forma ante diferentes tipos de intensidades.

Por otro lado, respecto al efecto agudo, investigaciones futuras podrían investigar este mismo efecto, pero en esta ocasión medido pasados 15-30 minutos para así comprobar si la diferencia entre grupos puede ser mayor, debido al comportamiento más acentuado que parece manifestar el IGF-1 en este tiempo (Lambourne & Tomporowski. et al 2010). Además, sería de especial interés comprobar si existen diferencias temporales en la concentración de IGF-1 medido en saliva y en sangre.

En esta investigación se ha medido la concentración en saliva de un único factor neurotrófico. En futuros estudios se debería profundizar en otros factores de crecimiento neuronal, como el BDNF, VEGF o FGF. Todos estos factores han mostrado un rol importante en los procesos de neurogénesis. Por ello, al ver el comportamiento de varios factores de crecimiento neuronales, se puede entender de forma más compleja los mecanismos de neurogénesis y su relación con las funciones ejecutivas.

Para el análisis del IGF-1 en la presente investigación se utilizó el kit ELISA a través de la medición en saliva. La concentración en saliva y plasma muestran diferencias entre sus resultados en una misma población, mostrando valores más elevados en plasma debido a su mayor concentración en sangre. Por este motivo, en la literatura actual existe poca evidencia sobre el efecto del ejercicio físico en la concentración de IGF-1 medido en saliva. A pesar de esta diferencia, la acumulación de saliva puede ser una estrategia más fácil y cómoda para la práctica de campo frente a la extracción sanguínea. Por estos motivos, se debería seguir profundizando sobre el análisis de los diferentes factores de crecimiento neuronal a través de la saliva.

Por último, y para entender mejor el efecto del ejercicio físico en la cognición, podría ser interesante comparar estos efectos en otras poblaciones, como por ejemplo sujetos activos, niños o incluso con adultos con cierto deterioro cognitivo. De esta forma, se podría entender de forma más completa el efecto del ejercicio físico dependiendo de características como la edad, estado de la cognición del sujeto, etc.

# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Abad-Santos, F., Novalbos-Reina, J., Gallego-Sandin, S., & Garcia, A. (2002). Treatment of mild cognitive impairment: Value of citicoline. *Revista de Neurologia*, 35(7), 675–682.  
<http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L3626776>
- 4
- Aberg, N. D., Brywe, K. G., & Isgaard, J. (2006). Aspects of Growth Hormone and Insulin-Like Growth Factor-I Related to Neuroprotection, Regeneration, and Functional Plasticity in the Adult Brain. *TheScientificWorldJOURNAL*, 6, 287372. <https://doi.org/10.1100/tsw.2006.22>
- Abrams, E., & Szeffler, S. (2020). COVID-19 and the impact of social determinants of health. *The Lancet*, 8(7), 659–661. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30234-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30234-4)
- ACSM. (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 9th Ed. 2014. *The Journal of the Canadian Chiropractic Association*, 58(3), 328–328.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4139760/>
- ACSM. (2021). Worldwide Survey of Fitness Trends for 2021. *ACSM Health and Fitness Journal*, 25(1), 10–19.
- Adler, N. E., & Newman, K. (2002). Socioeconomic disparities in health: Pathways and policies. *Health Affairs*, 21(2), 60–76. <https://doi.org/10.1377/hlthaff.21.2.60>
- Aguirre-Loaiza, H., Arenas, J., Arias, I., Franco-Jimenez, A., Barbosa-GRanados, S., Ramos-Bermúdez, S., Ayala-Zuluaga, F., Núñez, C., & García-Mas, A. (2019). Effect of Acute Physical Exercise on Executive Functions and Emotional Recognition\_ Analysis of Moderate to High Intensity in Young Adults \_ Enhanced Reader.pdf. *Frontier in Physiology*, 10, 2774.
- Ai, J. Y., Chen, F. T., Hsieh, S. S., Kao, S. C., Chen, A. G., Hung, T. M., & Chang, Y. K. (2021).

The effect of acute high-intensity interval training on executive function: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7).

<https://doi.org/10.3390/ijerph18073593>

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., O'Brien, W. L., Bassett, J., Schmitz, K. H., Emplaincourt, P. O., Jacobs, J., & Leon, A. S. (2000). Compendium of physical activities: An update of activity codes and MET intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9 SUPPL.).

<https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>

Alain, C., & Woods, D. L. (1999). Age-related changes in processing auditory stimuli during visual attention: evidence for deficits in inhibitory control and sensory memory. *Psychology and Aging*, 14(3), 507–519. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10509703>

Alfini, A. J., Tzuang, M., Owusu, J. T., & Spira, A. P. (2020). Later-life sleep, cognition, and neuroimaging research: an update for 2020. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 33, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2019.12.011>

Álvarez-bueno, C., Pesce, C., Caverro-redondo, I., Sánchez-lópez, M., Martínez-hortelano, J. A., & Martínez-vizcaíno, V. (2017). The Effect of Physical Exercise Activity Interventions on Children's Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(9).

<https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012>

Alvarez-buylla, A., & Garcı, J. M. (2002). *Neurogenesis in Adult Subventricular Zone*. 22(3), 629–634.

Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive function and the frontal lobes: A meta-analytic review. In *Neuropsychology Review* (Vol. 16, Issue 1, pp. 17–42). Neuropsychol Rev.

<https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*. American Psychiatric Association.

<https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>

Anastasia, A., Deinhardt, K., Chao, M. V., Will, N. E., Irmady, K., Lee, F. S., Hempstead, B. L., & Bracken, C. (2013). Val66Met polymorphism of BDNF alters prodomain structure to induce neuronal growth cone retraction. *Nature Communications*, *4*(2), 1–12.

<https://doi.org/10.1038/ncomms3490>

Ancer, L., Meza, C., Pompa, E., Torres, F., & Landero, R. (2011). Relationship between self-esteem and stress levels in university students. *Enseñanza e Investigación En Psicología*, *16*(81), 91–101.

Angrino Quebradas, A. D. (2011). El error de Descartes. La emoción, la razón y el cerebro Humano. *Cuaderno de Neuropsicología Panamerican Journal of Neuropsychology*, *5*(2), 173–178.

Antonelli, G., Cappellin, E., Gatti, R., Chiappin, S., Spinella, P., & Palo, E. F. De. (2007). Measurement of free IGF-I saliva levels : Perspectives in the detection of GH / IGF axis in athletes. *Clinical Biochemistry*, *40*, 545–550.

<https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2007.01.014>

Antonelli, G., Gatti, R., Prearo, M., & Palo, E. F. De. (2009). Salivary free Insulin-like Growth Factor-I levels : Effects of an acute physical exercise in athletes. *J. Endocrinol. Invest*, *32*, 1–5.

Appelhans, B. M., Thomas, A. S., Roisman, G. I., Booth, C., Maria, L., & Thomas, A. S. (2021). Preexisting Executive Function Deficits and Change in Health Behaviors During the



COVID - 19 Pandemic. *International Journal of Behavioral Medicine*, 0123456789.

<https://doi.org/10.1007/s12529-021-09974-0>

Arad, A. D., Albu, J. B., & Dimenna, F. J. (2020). *Feasibility of a progressive protocol of high-intensity interval training for overweight / obese , sedentary African American women : a retrospective analysis*. 7, 1–11.

Aránguiz, P., Chiong, M., Salas, D., & Rodriguez, A. (2006). IGF-1: Un factor factor de crecimiento con acciones cardiovasculares pleiotrópicas. *Revista Chilena de Cardiología*, 25(3), 317–330.

Araúz Hernández, A. G., Guzmán Padilla, S., & Roselló Araya, M. (2013). La circunferencia abdominal como indicador de riesgo de enfermedad cardiovascular. *Acta Médica Costarricense*, 55(3), 122–127. <https://doi.org/10.51481/amc.v55i3.799>

Ardila, A., & Surloff, C. (2006). Dysexecutive agraphia: A major executive dysfunction sign. *International Journal of Neuroscience*, 116(5), 653–663. <https://doi.org/10.1080/00207450600592206>

Arnsten, A. F. T. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 10, Issue 6, pp. 410–422). NIH Public Access. <https://doi.org/10.1038/nrn2648>

Arocha Rodulfo, I. (2019). Sedentarismo, la enfermedad del siglo XXI. *Clinica e Investigación En Arteriosclerosis*, 31(5), 233–240.

Asamoah, S., Siegler, J., Chang, D., Scholey, A., Yeung, A., & Cheema, B. S. (2013). Effect of Aerobic Training on Cognitive Function and Arterial Stiffness in Sedentary Young Adults : A Pilot Randomized Controlled Trial. *Physiology Journal*, 2013, 1–10.

Astorino, T. A., Clark, A., De La Rosa, A., & De Revere, J. L. (2019). Enjoyment and affective

responses to two regimes of high intensity interval training in inactive women with obesity. *European Journal of Sport Science*, 19(10), 1377–1385.

<https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1619840>

Ataie, A., Shadifar, M., & Atae, R. (2016). Review paper: Polyphenolic antioxidants and neuronal regeneration. *Basic and Clinical Neuroscience*, 7(2), 81–90.

<https://doi.org/10.15412/J.BCN.03070201>

Atienza, F. ., Moreno, Y., & Balanguer, I. (2000). Análisis de la dimensionalidad de la Escala de Autoestima de Rosenberg en una muestra de adolescentes valencianos Análisis de la Dimensionalidad de la Escala de Autoestima de Rosenberg en una Muestra de Adolescentes Valencianos An Analysis of the Dimensio. *Revista de Psicología Universitas Tarraconensi*, 22, 29–42.

Ayabe, M., Aoki, J., Ishii, K., Takayama, K., & Tanaka, H. (2008). Pedometer accuracy during stair climbing and bench stepping exercises. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(2), 249–254.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1994). Developments in the concept of working memory. *Neuropsychology*, 8(4), 485–493. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.8.4.485>

Baddeley, AD, Sala, S. Della, Gray, C., Papagno, C., & Spinnler, H. (1997). *Testing central executive functioning with a pencil-and-paper test* (pp. 61–80). Taylor & Francis Group. <https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/testing-central-executive-functioning-with-a-pencil-and-paper-tes>

Baddeley, Alan. (1992). Working Memory Components of Working Memory Individual Differences in Working Memory The Slave Systems of Working Memory. *Science*, 255(Mii).

- Ballesio, A., Aquino, M. R. J. V., Kyle, S. D., Ferlazzo, F., & Lombardo, C. (2019). Executive functions in insomnia disorder: A systematic review and exploratory meta-analysis. *Frontiers in Psychology, 10*(JAN). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00101>
- Barde, Y., Edgar, D., & Thoenen, H. (1982). neurotrophic factor from mammalian brain. *The EMBO Journal, 1*(5), 549–553.
- Barrios Vergara, M., Ocaranza Ozimica, J., Llach Fernández, L., Osorio Fuentealba, C., Giner Costagliola, V., & Sacomori, C. (2018). Vo2 Máximo Indirecto Y Edad Fitness De Sedentarios Y No Sedentarios // Vo2 Indirect Maximum and Fitness Age of Sedentary and Non-Sedentary. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de La Actividad Física y Del Deporte, 18*(71), 493–505. <https://doi.org/10.15366/rimcafd2018.71.006>
- Baskaran, C., Animashaun, A., Rickard, F., Toth, A. T., Eddy, K. T., Plessow, F., Bredella, M. A., & Misra, M. (2021). Memory and Executive Function in Adolescent and Young Adult Females with Moderate to Severe Obesity Before and After Weight Loss Surgery. *Obesity Surgery, 31*(7), 3372–3378. <https://doi.org/10.1007/s11695-021-05386-x>
- Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2017). The Effects of Acute Exercise on Mood , Cognition , Neurophysiology , and Neurochemical Pathways : A Review. *Brain Plasticity, 2*, 127–152. <https://doi.org/10.3233/BPL-160040>
- Batouli, S. A. H., & Saba, V. (2017). At least eighty percent of brain grey matter is modifiable by physical activity: A review study. *Behavioural Brain Research, 14*(332), 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.06.002>
- Beck, A.T, & Steer, R. . (1993). Beck Depression Inventory Manual. In *Scientific Reseach Publishing*. [https://www.scirp.org/\(S\(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?Re](https://www.scirp.org/(S(vtj3fa45qm1ean45vvffcz55))/reference/ReferencesPapers.aspx?Re)

ferenceID=1927212

- Beck, Aaron T., & Bredemeier, K. (2016). A unified model of depression: Integrating clinical, cognitive, biological, and evolutionary perspectives. *Clinical Psychological Science*, 4(4), 596–619. <https://doi.org/10.1177/2167702616628523>
- Bernier, A., Carlson, S. M., Bordeleau, S., & Carrier, J. (2010). Relations Between Physiological and Cognitive Regulatory Systems: Infant Sleep Regulation and Subsequent Executive Functioning. *Child Development*, 81(6), 1739–1752. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01507.x>
- Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Freedman, M. (2007). Bilingualism as a protection against the onset of symptoms of dementia. *Neuropsychologia*, 45(2), 459–464. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.009>
- Bize, R., Johnson, J. A., & Plotnikoff, R. C. (2007). Physical activity level and health-related quality of life in the general adult population : A systematic review. *Preventive Medicine*, 45, 401–415. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2007.07.017>
- Blusztajn, J. K., & Wurtman, R. J. (1983). Choline and cholinergic neurons. *Science (New York, N.Y.)*, 221(4611), 614–620. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6867732>
- Bobes, J., Bulbena, A., Luque, A., Dal-ré, R., Ballesteros, J., Ibarra, N., & Psicométricas, D. E. (2003). Evaluación psicométrica comparativa de las versiones en español de 6 , 17 y 21 ítems de la Escala de valoración de Hamilton para la evaluación de la depresión. *Medicina Clínica*, 120(18), 693–700. [https://doi.org/10.1016/S0025-7753\(03\)73814-7](https://doi.org/10.1016/S0025-7753(03)73814-7)
- Boone, K. B., Lesser, I. M., Miller, B. L., Wohl, M., Berman, N., Lee, A., Palmer, B., & Back, C. (1995). Cognitive Functioning in Older Depressed Outpatients: Relationship of Presence and Severity of Depression to Neuropsychological Test Scores. *Neuropsychology*, 9(3),

390–398. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.9.3.390>

- Borba, D. D. A., Alves, S., Paulo, J., Rosa, P., Facundo, L. A., Magno, C., Costa, A., Silva, A. C., Narciso, F. V., Silva, A., & Mello, M. T. De. (2020). Can IGF-1 Serum Levels Really be Changed by Acute Physical Exercise ? A Can IGF-1 Serum Levels Really be Changed by Acute Physical Exercise ? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Physical Activity and Health, 15*(5), 1–10. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0453>
- Bossers, W. J. R., van der Woude, L. H. V., Boersma, F., Hortobágyi, T., Scherder, E. J. A., & van Heuvelen, M. J. G. (2015). A 9-Week Aerobic and Strength Training Program Improves Cognitive and Motor Function in Patients with Dementia: A Randomized, Controlled Trial. *The American Journal of Geriatric Psychiatry, 23*(11), 1106–1116. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2014.12.191>
- Bowie, C. R., Gupta, M., Holshausen, K., Jokic, R., Best, M., & Milev, R. (2013). Cognitive remediation for treatment-resistant depression: Effects on cognition and functioning and the role of online homework. *Journal of Nervous and Mental Disease, 201*(8), 680–685. <https://doi.org/10.1097/NMD.0b013e31829c5030>
- Brahm, H., Saltin, B., & Ljunghall, S. (1997). Net Fluxes Over Working Thigh of Hormones , Growth Factors and Biomarkers of Bone Metabolism During Short Lasting Dynamic Exercise. *Calcified Tissue International, 60*, 175–180.
- Brisswalter, J., & Arcelin, R. (1997). Influence of physical exercise in simple reaction time: Effect of Physical Fitness. *Perceptual and Motor Skills, 85*, 1019–1027.
- Brisswalter, Jeanick, Collardeau, M., & René, A. (2002). *Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on. 32*(9), 555–566.
- Brooks, G. A. (2018). Review The Science and Translation of Lactate Shuttle Theory. *Cell*

*Metabolism*, 27(4), 757–785. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2018.03.008>

Brooks, S. K., Webster, R. K., Smith, L. E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., & Rubin, G. J. (2020). Rapid Review The psychological impact of quarantine and how to reduce it : rapid review of the evidence. *The Lancet*, 395(10227), 912–920.

[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30460-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8)

Browne, S. E., Flynn, M. J., O’Neill, B. V., Howatson, G., Bell, P. G., & Haskell-Ramsay, C. F. (2017). Effects of acute high-intensity exercise on cognitive performance in trained individuals: A systematic review. *Progress in Brain Research*, 234, 161–187.

<https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2017.06.003>

Bruce, S. (2010). *The Brain: The Central Organ of Stress and Adaptation Across the Lifecourse*.

Bruna, R., & Ruano, C. (2012). *Rehabilitación Neuropsicológica . Intervención y Práctica Clínica* . (Elsevier-M, Issue February).

Brush, C., Olson, R., Ehmann, P., Osovsky, S., & Alderman, B. (2016). Dose-response and time-course effects of acute resistance exercise on executive function. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 38(4), 396–408.

Buchheit, M. (2013). High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle: Part I: Cardiopulmonary Emphasis. *Sport Medicine*, 43(March).

<https://doi.org/10.1007/s40279-013-0029-x>

Budde, H., Brunelli, A., Machado, S., Velasques, B., & Ribeiro, P. (2012). *Intermittent Maximal Exercise Improves Attentional Performance Only in Physically Active Students*. 43.

<https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2012.02.005>

Bull, F. C., Al-, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J.-P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., Dipietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich,

- C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., ... Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 54, 1451–1462. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955>
- Buysse, D. J., Reynolds, C. F., Monk, T. H., Berman, S. R., & Kupfer, D. J. (1989). Buysse DJ, Reynolds CF, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ. The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res*. 1989;28:193–213. *Psychiatry Res*, 28, 193–213.
- Cajochen, C., Knoblach, V., Kräuchi, K., Renz, C., & Wirz-Justice, A. (2001). Dynamics of frontal EEG activity, sleepiness and body temperature under high and low sleep pressure. *NeuroReport*, 12(10), 2277–2281. <https://doi.org/10.1097/00001756-200107200-00046>
- Calatayud, E., Plo, F., & Muro, C. (2019). Atención Primaria Análisis del efecto de un programa de estimulación cognitiva en personas con envejecimiento normal en Atención Primaria : ensayo clínico aleatorizado. *Atención Primaria*, 52(1), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.aprim.2018.09.007>
- Camargo Lemos, D. M., Orozco-Vargas, L. C., & Niño Cruz, G. I. (2014). Quality Of Life In College Students. Evaluation Of Associated Factors. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 23(2), 117–123. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1409-14292014000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292014000200004&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Camargo Lemos, M., Orozco Vargas, L. ., Hernández Sánchez, J., & Niño Cruz, G. . (2009). Dolor de espalda crónico y actividad física en estudiantes universitarios de áreas de la salud. *Rev Soc Esp Dolor*, 16(8), 429–436. [www.elsevier.es/resed](http://www.elsevier.es/resed)
- Camilo, J., Mosquera, G., Aragón, F., Costa, U. De, & Costa, R. (2021). Sedentarismo ,

actividad física y salud : una revision narrativa Sedentary lifestyle , physical activity and health : a narrative review. *Retos*, 2041, 478–499.

Campanholo, K. R., Boa, I. N. F., da Silva Araujo Hodroj, F. C., Guerra, G. R. B., Miotto, E. C., & de Lucia, M. C. S. (2017). Impact os sociodemographic variables on executive functions. *Dementia e Neuropsychologia*, 11(1), 62–68. <https://doi.org/10.1590/1980-57642016dn11-010010>

Cancela, J., Ayán, C., Vila, H., Gutiérrez, J., & Gutiérrez-Santiago, A. (2019). Validez de Constructo del Cuestionario Internacional de Actividad Física en Universitarios Españoles. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación – e Avaliação Psicológica*, 52(3). <https://doi.org/10.21865/ridep52.3.01>

Cancela, J. M., Ayán, C., Vila, H., Gutiérrez, J. M., & Gutiérrez-Santiago, A. (2019). Construct validity of the international physical activity questionnaire in Spanish university students. *Revista Iberoamericana de Diagnostico y Evaluacion Psicologica*, 52(3), 5–14. <https://doi.org/10.21865/RIDEP52.3.01>

Cano-Lozano, M. C., Espinosa-Fernández, L., Miró, E., & Buela-Casal, G. (2003). A review of sleep disorders in depression. In *Revista de Neurologia* (Vol. 36, Issue 4, pp. 366–375). *Revista de Neurologia*. <https://doi.org/10.33588/rn.3604.2002051>

Carmeliet, P., & Ruiz, C. (2013). VEGF ligands and receptors : implications in neurodevelopment and neurodegeneration. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 70(10), 1283–1287. <https://doi.org/10.1007/s00018-013-1283-7>

Carro, E., Nun, A., Busiguina, S., & Torres-aleman, I. (2000). Circulating Insulin-Like Growth Factor I Mediates Effects of Exercise on the Brain. *The Journal of Neuroscience*, 20(8), 2926–2933.



- Cassilhas, R. C., Tufik, S., & De Mello, M. T. (2016). Physical exercise, neuroplasticity, spatial learning and memory. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 73(5), 975–983.  
<https://doi.org/10.1007/s00018-015-2102-0>
- Catani, M. (2019). The anatomy of the human frontal lobe. In *Handbook of Clinical Neurology* (1st ed., Vol. 163). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804281-6.00006-9>
- Catherine, D., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., Allison, J. D., & Naglieri, J. A. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: A randomized, controlled trial. *Health Psychology*, 30(1), 91–98. <https://doi.org/10.1037/a0021766>
- Cellini, N. (2017). Memory consolidation in sleep disorders. In *Sleep Medicine Reviews* (Vol. 35, pp. 101–112). W.B. Saunders Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2016.09.003>
- Cepeda, N. J., Cepeda, M. L., & Kramer, A. F. (2000). Task switching and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 28(3), 213–226.  
<https://doi.org/10.1023/a:1005143419092>
- Chan, C. B., & Ye, K. (2017). Mini-Review Sex Differences in Brain-Derived Neurotrophic Factor Signaling and Functions. *Journal of Neuroscience Research*, 335(March 2016), 328–335. <https://doi.org/10.1002/jnr.23863>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453(250), 87–101.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Charchat-fichman, H., & Oliveira, R. M. (2009). Performance of 119 Brazilian children on Stroop Paradigm – Victoria Version. *ARQUIVOS DE NEURO-PSIQUIATRIA*, 67(January), 445–449.

- Chen, F.-T., Chen, S.-R., Chu, I.-H., Liu, J.-H., & Chang, Y.-K. (2017). Multicomponent Exercise Intervention and Metacognition in Obese Preadolescents: a Randomized Controlled Study. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 39*(4), 302-312.  
<https://doi.org/10.1123/jsep.2017-0013>
- Chen, M. ., Nguyen, T. ., Pike, C. ., & Russo-Neustadt. (2007). Norepinephrine induces BDNF and activates the PI-3K and MAPK cascades in embryonic hippocampal neurons. *Cellular Signalling, 19*(114–128).
- Chen, Z., Bath, K., Mcewen, B., Hempstead, B., & Lee, F. (2008). Impact of genetic variant BDNF ( Val66Met ) on brain structure and function. *Novartis Foundation Symposium, 289*, 180–192.
- Chicharro, J. L., Lucía, A., Pérez, M., & Vaquero, A. F. (1998). Saliva Composition and Exercise. *Sport Medicine, 26*(1), 17–27.
- Chiu, M.-L., Lin, P.-S., Hsieh, C.-C., Hsu, H.-T., Hsiang, L. T., & Wen, W. Y. (2014). Effects of resistance training on cognitive function and muscle strength in mild demented elderly. *AUSTRALASIAN JOURNAL ON AGEING, 33*(1, SI), 53.
- Cohen. (2014). The Neuropsychology of Attention. In *The Neuropsychology of Attention*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-72639-7>
- Cohen, B. Y. S., Levi-montalcini, R., & Hamburger, V. (1954). A nerve growth-stimulating factor isolated from sarcomas 37 and 180\*. *Proc Natl Acad Sci U S A, 40*(10), 1014–1018.
- Cohen, D. A., Han, B., Kraus, L., & Young, D. R. (2019). The trajectory of patterns of light and sedentary physical activity among females, ages 14-23. *PLoS ONE, 14*(11), 1–15.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223737>
- Cohen, R. A., Grieve, S., Hoth, K. F., Paul, R. H., Sweet, L., Tate, D., Gunstad, J., Stroud, L.,

- McCaffery, J., Hitsman, B., Niaura, R., Clark, C. R., MacFarlane, A., Bryant, R., Gordon, E., & Williams, L. M. (2006). Early Life Stress and Morphometry of the Adult Anterior Cingulate Cortex and Caudate Nuclei. *Biological Psychiatry*, *59*(10), 975–982.  
<https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.12.016>
- Cohen, S., & Williamson, G. M. (1991). Stress and infectious disease in humans. *Psychological Bulletin*, *109*(1), 5–24. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.109.1.5>
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., Webb, A., Jerome, G. J., Marquez, D. X., & Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness , cortical plasticity , and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*(9), 3316–3321.
- Consitt, L. A., Copeland, J. L., & Tremblay, M. S. (2002). Responses to Endurance Versus Resistance Exercise and Training in Women. *Sport Med*, *32*(1), 1–22.
- Corella, C., Rodríguez-muñoz, S., Abarca-sos, A., & Zaragoza, J. (2018). *Cumplimiento de las recomendaciones de práctica de actividad física en función de los cutoffs points y el género en estudiantes universitarios españoles Compliance of physical activity guidelines depending on cutoffs points and gender in Spanish university . February.*  
<https://doi.org/10.6018/321821>
- Costigan, S. A., Barnett, L., Plotnikoff, R. C., & Lubans, D. R. (2013). The health indicators associated with screen-based sedentary behavior among adolescent girls: A systematic review. *Journal of Adolescent Health*, *52*(4), 382–392.  
<https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2012.07.018>
- Cotrena, C., Branco, L. D., Shansis, F. M., & Fonseca, R. P. (2016). Executive function impairments in depression and bipolar disorder: Association with functional impairment and

quality of life. *Journal of Affective Disorders*, 190, 744–753.

<https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.11.007>

Craig, A. D. (2002). How do you feel? Interoception: The sense of the physiological condition of the body. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(8), 655–666. <https://doi.org/10.1038/nrn894>

Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F., & Oja, P. (2003). International physical activity questionnaire: 12-Country reliability and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8), 1381–1395. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB>

Crespo-Salgado, J. J., Delgado-Martín, J. L., Blanco-Iglesias, O., & Aldecoa-Landesá, S. (2015). Basic guidelines for detecting sedentarism and recommendations for physical activity in primary care. *Atencion Primaria*, 47(3), 175–183.

<https://doi.org/10.1016/j.aprim.2014.09.004>

Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., & Cook, C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation. *Sports Medicine*, 36(3), 215–238.

Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351(1346), 1413–1420. <https://doi.org/10.1098/rstb.1996.0125>

Darowski, E. S., Helder, E., Zacks, R. T., Hasher, L., & Hambrick, D. Z. (2008). Age-related differences in cognition: the role of distraction control. *Neuropsychology*, 22(5), 638–644.

<https://doi.org/10.1037/0894-4105.22.5.638>

Daskapan, A., Tuzun, E. H., & Eker, L. (2005). Relationship between physical activity level and health related quality of life among university students. *Saudi Medical Journal*, 26(6), 1026–1028.

- Daveri, M., Fusco, A., Cortis, C., & Mascherini, G. (2022). Effectiveness of Different Modalities of Remote Online Training in Young Healthy Males. *Sports, 10*(11), 1–11.  
<https://doi.org/10.3390/sports10110170>
- Davey, B. (1973). Physical Exertion and Mental Performance. *Ergonomics, 16*(5), 595–599.  
<https://doi.org/10.1080/00140137308924550>
- Davis, J., Marra, M., Najafzadeh, & Liu-Ambrose. (2010). The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatrics, 10*, 16.  
<http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id=L360232908>
- Davis, K. F., Parker, K. P., & Montgomery, G. L. (2004). Sleep in infants and young children - Part one: Normal sleep. *Journal of Pediatric Health Care, 18*(2), 65–71.  
[https://doi.org/10.1016/S0891-5245\(03\)00149-4](https://doi.org/10.1016/S0891-5245(03)00149-4)
- de Alcantara Borba, D., da Silva Alves, E., Rosa, J. P. P., Facundo, L. A., Costa, C. M. A., Silva, A. C., Narciso, F. V., Silva, A., & de Mello, M. T. (2020). Can IGF-1 serum levels really be changed by acute physical exercise? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Physical Activity and Health, 17*(5), 575–584. <https://doi.org/10.1123/jpah.2019-0453>
- De Assis, G. G., Gasanov, E. V., de Sousa, M. B. C., Kozacz, A., & Murawska-Cialowicz, E. (2018). Brain derived neurotrophic factor, a link of aerobic metabolism to neuroplasticity. *Journal of Physiology and Pharmacology : An Official Journal of the Polish Physiological Society, 69*(3), 351–358. <https://doi.org/10.26402/jpp.2018.3.12>
- De Sousa Fernandes, M. S., Ordônio, T. F., Santos, G. C. J., Santos, L. E. R., Calazans, C. T., Gomes, D. A., & Santos, T. M. (2020). Effects of Physical Exercise on Neuroplasticity and Brain Function: A Systematic Review in Human and Animal Studies. *Neural Plasticity,*

2020. <https://doi.org/10.1155/2020/8856621>

Del Valle-del valle, G., Puertas-Cuesta, M., Renau-Hernandez, O., Noguera-Escalera, P., García-Blaquez, M., Ferri-Salvador, N., Chirivella-Garrido, J., Ferri-Campos, J., & Noé-SEbanstíán, E. (2008). Neurología. *Neurología*, *46*, 142–146.  
<https://neurologia.com/noticia/775/validez-de-las-dos-versiones-del-test-de-clasificacion-de-cartas-wisconsin>

Diamond, A. (2013a). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, *64*, 135–168.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>

Diamond, A. (2013b). Executive Functions. *Annual Review of Clinical Psychology Psychol.*, *64*, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>.Executive

Diamond, J. (2010). The benefits of multilingualism. In *Science* (Vol. 330, Issue 6002, pp. 332–333). American Association for the Advancement of Science.  
<https://doi.org/10.1126/science.1195067>

Diego-Moreno, M. De, Álvarez-SAlvago, F., Martínez-Amat, A., Boquete-pumar, C., Orihuela-espejo, A., Aibar-Almazán, A., & Jiménez-García, J. D. (2022). Acute Effects of High-Intensity Functional Training and Moderate-Intensity Continuous Training on Cognitive Functions in Young Adults. *International Journal of Environment Research and Public Helath*, *19*(17), 1–10.

Ding, D., Lawson, K. D., Kolbe-Alexander, T. L., Finkelstein, E. A., Katzmarzyk, P. T., van Mechelen, W., & Pratt, M. (2016). The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. In *The Lancet* (Vol. 388, Issue 10051, pp. 1311–1324). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)30383-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)30383-X)

Dinoff, A., Herrmann, N., Swardfager, W., Liu, C., Sherman, C., Chan, Sa., & Lancetot, K.

- (2016). The Effect of Exercise Training on Resting Concentrations of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF)\_ A Meta-Analysis. *PLOS ONE*, *11*(9), 1–21.
- Donnelly, J. E., Ed, D., Co-chair, F., Hillman, C. H., Co-chair, P. D., Ph, D., Etnier, J. L., Ph, D., Lee, S., Ph, D., Tomporowski, P., Ph, D., Lambourne, K., Ph, D., Szabo-reed, A. N., & Ph, D. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *48*(6), 1197–1222. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901>.Physical
- Dotson, V. M., McClintock, S. M., Verhaeghen, P., Kim, J. U., Draheim, A. A., Syzmkowicz, S. M., Gradone, A. M., Bogoian, H. R., & Wit, L. De. (2020). Depression and Cognitive Control across the Lifespan: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Neuropsychology Review*, *30*(4), 461–476. <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09436-6>
- Draper, C. F., Duisters, K., Weger, B., Chakrabarti, A., Harms, A. C., Brennan, L., Hankemeier, T., Goulet, L., Konz, T., Martin, F. P., Moco, S., & van der Greef, J. (2018). Menstrual cycle rhythmicity: metabolic patterns in healthy women. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32647-0>
- Duman, R. S., & Aghajanian, G. K. (2012). Synaptic dysfunction in depression: Potential therapeutic targets. In *Science* (Vol. 338, Issue 6103, pp. 68–72). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1222939>
- Duncko, R., Johnson, L., Merikangas, K., & Grillon, C. (2009). Working memory performance after acute exposure to the cold pressor stress in healthy volunteers. *Neurobiology of Learning and Memory*, *91*(4), 377–381. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2009.01.006>
- Dunstan, D. W., Dogra, S., Carter, S. E., & Owen, N. (2021). Sit less and move more for cardiovascular health: emerging insights and opportunities. *Nature Reviews Cardiology*,

18(9), 637–648. <https://doi.org/10.1038/s41569-021-00547-y>

Dupuit, M., Maillard, F., Pereira, B., Marquezi, M. L., Lancha, A. H., & Boisseau, N. (2020).

Effect of high intensity interval training on body composition in women before and after menopause: a meta-analysis. *Experimental Physiology*, 105(9), 1470–1490.

<https://doi.org/10.1113/EP088654>

Dupuy, O., Billaut, F., Raymond, F., Benraiss, A., Theurot, D., Bosquet, L., Fraser, S., &

Tremblay, J. (2018). *Effect of Acute Intermittent Exercise on Cognitive Flexibility : the Role of Exercise Intensity*.

Dyer, A. H., Vahdatpour, C., Sanfeliu, A., & Tropea, D. (2016). The role of Insulin-Like Growth

Factor 1 (IGF-1) in brain development, maturation and neuroplasticity. *Neuroscience*, 325, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.03.056>

Eather, N., Riley, N., Miller, A., Smith, V., Poole, A., Vincze, L., Morgan, P. J., & Lubans, D. R.

(2019). Efficacy and feasibility of HIIT training for university students: The Uni-HIIT RCT. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(5), 596–601.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.11.016>

Echavarría, L. M. (2017). Modelos explicativos de las funciones ejecutivas. *Revista de*

*Investigación En Psicología*, 20(1), 237. <https://doi.org/10.15381/rinvp.v20i1.13534>

Edwards, M. K., & Loprinzi, P. D. (2016). Experimentally increasing sedentary behavior results

in increased anxiety in an active young adult population. *Journal of Affective Disorders*, 204, 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.06.045>

El-sayes, J., Harasym, D., Turco, C. V, Locke, M. B., & Nelson, A. J. (2019). Exercise-Induced

Neuroplasticity : A Mechanistic Model and Prospects for Promoting Plasticity. *The Neuroscientist*, 25(1), 65–85. <https://doi.org/10.1177/1073858418771538>



- Eldreth, D. A., Patterson, M. D., Porcelli, A. J., Biswal, B. B., Rebbeschi, D., & Rypma, B. (2006). Evidence for multiple manipulation processes in prefrontal cortex. *Brain Research, 1123*(1), 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.07.129>
- Eliakimt, A., Brasel, J. O. A., & Cooper, M. (1996). Physical Fitness, Endurance Training, and the Growth Hormone-Insulin-Like Growth Factor I System in Adolescent Female. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 81*(11), 3986–3992.
- Ellingson, L. D., Meyer, J. D., Shook, R. P., Dixon, P. M., Hand, G. A., Wirth, M. D., Paluch, A. E., Burgess, S., Hebert, J. R., & Blair, S. N. (2018). Changes in sedentary time are associated with changes in mental wellbeing over 1 year in young adults. *Preventive Medicine Reports, 11*(January), 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.pmedr.2018.07.013>
- Elliott, Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2000). Dissociable functions in the medial and lateral orbitofrontal cortex: Evidence from human neuroimaging studies. *Cerebral Cortex, 10*(3), 308–317. <https://doi.org/10.1093/cercor/10.3.308>
- Elliott, R., Sahakian, B. J., Matthews, K., Bannerjea, A., Rimmer, J., & Robbins, T. W. (1997). Effects of methylphenidate on spatial working memory and planning in healthy young adults. *Psychopharmacology, 131*(2), 196–206. <https://doi.org/10.1007/s002130050284>
- Elliott, Rebecca. (2003). Executive functions and their disorders. In *British Medical Bulletin* (Vol. 65, Issue 1, pp. 49–59). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1093/bmb/65.1.49>
- Engeroff, T., Ingmann, T., & Banzer, W. (2018). Physical Activity Throughout the Adult Life Span and Domain-Specific Cognitive Function in Old Age: A Systematic Review of Cross-Sectional and Longitudinal Data. *Sports Medicine, 48*(6), 1405–1436. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0920-6>
- Esnaola, M. (2019). Los efectos del bilingüismo en el desarrollo cognitivo. *Ideas, 5*, 1–5.

Espy, K. A. (1997). The Shape School: Assessing Executive Function in Preschool Children. *Developmental Neuropsychology*, 13(4), 495–499.

<https://doi.org/10.1080/87565649709540690>

Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52(1), 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.01.002>

Ezekiel, F., Chao, L., Kornak, J., Du, A.-T. T., Cardenas, V., Truran, D., Jagust, W., Chui, H., Miller, B., Yaffe, K., Schuff, N., & Weiner, M. (2004). Comparisons between global and focal brain atrophy rates in normal aging and Alzheimer disease: Boundary Shift Integral versus tracing of the entorhinal cortex and hippocampus. *Alzheimer Disease and Associated Disorders*, 18(4), 196–201. <https://doi.org/00002093-200410000-00007> [pii]

Falck, R. S., Landry, G. J., & Liu-Ambrose, T. (2016). Physical Activity and Sedentary Behaviour are Associated with Cognitive Function in Healthy Older Adults But Not Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Cross-Sectional Study. *MEDICINE AND SCIENCE IN SPORTS AND EXERCISE*, 48(5, 1), 316.

<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000485954.51908.ad>

Fernandez, A. M., & Torres-Alemán, I. (2012). The many faces of insulin-like peptide signalling in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 13(4), 225–239. <https://doi.org/10.1038/nrn3209>

Figueiredo, C., Antunes, B. M., Giacon, T. R., Vanderlei, L. C. M., Eduardo, Z., Peres, F. P., Clark, N. W., Panissa, V. L. G., & Lira, F. S. (2019). Influence of Acute and Chronic High-Intensity Intermittent Aerobic Plus Strength Exercise on BDNF , Lipid and Autonomic Parameters. *Journal of Sport Science and Medicine*, 18(April), 359–368.

Flores-Lázaro, J. (2012). *Desarrollo neuropsicológico de lóbulos frontales y funciones*

*ejecutivas.*

- Flores, Lázaro, J. C., & Ostrosky, F. (2012). *Desarrollo neuropsicológico de lóbulos frontales y funciones ejecutivas.*
- Flores Lázaro, J. C. (2008). Neuropsicología de lóbulos frontales, funciones ejecutivas y conducta humana. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 47–58.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state”. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1202204>
- Fortier-Brochu, É., Beaulieu-Bonneau, S., Ivers, H., & Morin, C. M. (2012). Insomnia and daytime cognitive performance: A meta-analysis. In *Sleep Medicine Reviews* (Vol. 16, Issue 1, pp. 83–94). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2011.03.008>
- Franca Haverkamp, B., Wiersma, R., Vertessen, K., Hanneke, V. E., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults: A meta-analysis. *Journal of Sports Science*, 38(23), 2637–2660.
- Frank, M. J., & Fossella, J. A. (2011). Neurogenetics and pharmacology of learning, motivation, and cognition. *Neuropsychopharmacology*, 36(1), 133–152. <https://doi.org/10.1038/npp.2010.96>
- Freitas, D. A., Rocha-vieira, E., Soares, B. A., Nonato, L. F., Fonseca, S. R., Martins, J. B., Amaral, V., Lacerda, A. C., Massensini, A. R., Poortamns, J. R., Meeusen, R., & Leite, H. R. (2018). Physiology & Behavior High intensity interval training modulates hippocampal oxidative stress , BDNF and inflammatory mediators in rats. *Physiology & Behavior*,

184(October 2017), 6–11. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.10.027>

Fryszak, Z., Schovanek, J., Iacobone, M., & Karasek, D. (2015). Insulin-like Growth Factors in a clinical setting: Review of IGF-I. *Biomedical Papers*, 159(3), 347–351.

<https://doi.org/10.5507/bp.2015.041>

Fuster, J. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31(2002), 373–385.

Garcés- Viera, M. V., & Suarez Escudero, J. C. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Rev CES Med*, 28(1), 119–132. neuroplasticidad:

aspectos%5Cnbioqu?micos y neurofisiol?gicos

Garcia-Suarez, P., Rentería, I., Plaisance, E. P., Jiménez, J. M., & Maldonado, A. J. (2021). The effects of interval training on peripheral brain derived neurotrophic factor ( BDNF ) in

young adults : a systematic review and meta - analysis. *Scientific Reports*, 0123456789, 1–

14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88496-x>

Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, I. M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134(1), 31–60.

<https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.1.31>

Gejl, A. K., Enevold, C., Bugge, A., Andersen, M. S., Nielsen, C. H., & Andersen, L. B. (2019).

Associations between serum and plasma brain-derived neurotrophic factor and influence of storage time and centrifugation strategy. *Scientific Reports*, 9(September 2018), 1–9.

<https://doi.org/10.1038/s41598-019-45976-5>

Gerber, M., Brand, S., Herrmann, C., Colledge, F., Holsboer-trachsler, E., & Pühse, U. (2014).

Physiology & Behavior Increased objectively assessed vigorous-intensity exercise is

associated with reduced stress , increased mental health and good objective and subjective

sleep in young adults. *Physiology and Behavior*, 135, 17–24.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.05.047>

Geyer, S., Weiss, M., Reimann, K., Lohmann, G., & Turner, R. (2011). Microstructural parcellation of the human cerebral cortex - from Brodmann's post-mortem map to in vivo mapping with high-field magnetic resonance imaging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5(FEBRUARY), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00019>

Ghannam, M. G., & Singh, P. (2022). Anatomy, Head and Neck, Salivary Glands. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538325/>

Gibala, M. J., Little, J. P., Essen, M. Van, Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., Raha, S., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training : similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal Physiology*, 15(575), 901–911. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.112094>

Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume , high-intensity interval training in health and disease. *Journal Physiology*, 5(March), 1077–1084. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224725>

Giese, M., Unternaehrer, E., Brand, S., Calabrese, P., Holsboer-trachsler, E., & Eckert, A. (2013). The Interplay of Stress and Sleep Impacts BDNF Level. *PLoS ONE*, 8(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076050>

Gilbert, S., & Burgess, P. (2008). Executive function. In *Current Biology* (Vol. 18, Issue 3). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.12.014>

Giles, G. E., Mahoney, C. R., Brunyé, T. T., Taylor, H. A., & Kanarek, R. B. (2014). Stress effects on mood, HPA axis, and autonomic response: Comparison of three psychosocial stress paradigms. *PLoS ONE*, 9(12), e113618. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113618>

- Gillen, J. B., Gibala, M. J., & Graham, T. (2018). Interval training : a time-efficient exercise strategy to improve cardiometabolic health. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 43(September), 9–10. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0187>.
- Gmiat, A., Micielska, K., Koz, M., Flis, D. J., Smaruj, M., Kujach, S., Jaworska, J., Lipi, P., & Ziemann, E. (2017). The impact of a single bout of high intensity circuit training on myokines ' concentrations and cognitive functions in women of different age. *Psychology and Behavior*, 179(January), 290–297. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.07.004>
- Goda, A., Ohgi, S., Kinpara, K., Shigemori, K., Fukuda, K., & Schneider, E. (2013). Changes in serum BDNF levels associated with moderate-intensity exercise in healthy young Japanese men. *SpringerPlus*, 2(678).
- Godard, J., Grondin, S., Baruch, P., & Lafleur, M. F. (2011). Psychosocial and neurocognitive profiles in depressed patients with major depressive disorder and bipolar disorder. *Psychiatry Research*, 190(2–3), 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2011.06.014>
- Goekint, M., Pauw, K. De, Roelands, B., Njemini, R., Bautmans, I., & Mets, T. (2010). Strength training does not influence serum brain-derived neurotrophic factor. *European Journal of Applied Physiology*, 10, 285–293. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1461-3>
- Golden, C. J. (1999). Test de Colores y Palabras. In *TEA*.
- Gomez-pinilla, F., & Hillman, C. (2013). The Influence of Exercise on Cognitive Abilities. *Comprehensive Physiology*, 3(January), 403–428. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110063>
- Gomez-pinilla, F., Vaynman, S., & Ying, Z. (2008). Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotrophin to mediate the effects of exercise on cognition. *The European Journal of Neuroscience*, 20(11), 2278–2287. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2008.06524.x>
- González Osornio, M. G. (2015). *Desarrollo neurológico de las funciones ejecutivas en*

- preescolar*: (E. M. Moderno (ed.)). Editorial El Manual Moderno.  
[https://books.google.com/books/about/Desarrollo\\_neurológico\\_de\\_las\\_funciones.html?hl=es&id=feghCQAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Desarrollo_neurológico_de_las_funciones.html?hl=es&id=feghCQAAQBAJ)
- González Ramírez, M., & Landero Hernández, R. (2008). Síntomas psicósomáticos y estrés: comparación de un modelo estructural entre hombres y mujeres. *Ciencia-Uanl*, *11*(4), 11.
- Granada Ybern, M. L., Parera, L. A., Sestayo, A. L., Guerra, R. A., Quiroga, Á. A., García, E. Á., Abdelhanin, M. Ben, Esca-, E. B., Mercadal, G. C., Costa, R. F., Lacalle, C. G., & López, N. (2014). Factores a tener en cuenta en la interpretación de los resultados de la concentración sérica del factor de crecimiento insulinoide tipo 1 ( IGF-1 ) serum levels. *Revista Española Endocrinología Pedriatica*, *5*(2), 51–58.
- Gregory, S. M., Spiering, B. A., Alemany, J. A., Tuckow, A. P., Rarick, K. R., Staab, J. S., Hatfield, D. L., Kraemer, W. J., Maresh, C. M., & Nindl, B. C. (2013). Exercise-induced insulin-like growth factor I system concentrations after training in women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(3), 420–428.  
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182750bd4>
- Griffin, É., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S., O'Mora, S., & Kelly, Á. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology and Behaviour*, *104*(5), 934–941.  
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2011.06.005>
- Grim, M., Hertz, B., & Petosa, R. (2011). Impact evaluation of a pilot web-based intervention to increase physical activity. *American Journal of Health Promotion*, *25*(4), 227–230.  
<https://doi.org/10.4278/ajhp.081216-ARB-307>
- Guzmán-Cortés, J.A Villalva-Sánchez, A.F Bernal, J. (2015). Cambios en la estructura y función

cerebral asociados al entrenamiento aeróbico a lo largo de la vida . Una revisión teórica.  
*Redalyc*, 45(2), 203–217.

Haapasalo, A., Sipola, I., Larsson, K., Åkerman, K. E. O., Stoilov, P., Stamm, S., Wong, G., & Castre, E. (2002). Regulation of TRKB Surface Expression by Brain-derived Neurotrophic Factor and Truncated TRKB Isoforms \*. *The Journal of Biological Chemistry*, 277(45), 43160–43167. <https://doi.org/10.1074/jbc.M205202200>

Hagstro, M., Oja, P., & Sjo, M. (2006). *The International Physical Activity Questionnaire (IPAQ): a study of concurrent and construct validity*. 9(6), 755–762.  
<https://doi.org/10.1079/PHN2005898>

Hall, P. A., Fong, G. T., Epp, L. J., & Elias, J. (2008). Executive function moderates the intention-behavior link for physical activity and dietary behavior. *Psychology and Health*, 23(3), 309–326. <https://doi.org/10.1080/14768320701212099>

Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., Ekelund, U., Physical, L., Series, A., & Group, W. (2012). Physical Activity 1 Global physical activity levels : surveillance progress , pitfalls ,. *The Lancet*, 380(9838), 247–257.  
[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60646-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1)

Hamilton, M. (1960). A rating scale for depression. *Journal Neurology Neurosurg. Psychia.*, 23(56), 56–62.

Hamilton, M. (1967). Development of a Rating Scale for Primary Depressive Illness. *British Journal Soc. Clin. Pshychol.*, 6, 278–296.

Hasani-Ranjbar, S., Far, E., Heshmat, R., Rajabi, H., & Kosari, H. (2012). Time course responses of serum GH , insulin , IGF-1 , IGFBP1 , and IGFBP3 concentrations after heavy resistance exercise in trained and untrained men. *Endocrine*, 41(1), 144–151.



<https://doi.org/10.1007/s12020-011-9537-3>

- Hashimoto, T., Tsukamoto, H., Takenaka, S., Olesen, N. D., Petersen, L. G., Sørensen, H., Nielsen, H. B., Secher, N. H., & Ogoh, S. (2018). Maintained exercise-enhanced brain executive function related to cerebral lactate metabolism in men. *FASEB JOURNAL*, 32(3), 1417–1427. <https://doi.org/10.1096/fj.201700381RR>
- Haverkamp, B. F., Wiersma, R., Vertessen, K., van Ewijk, H., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 38(23), 2637–2660. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1794763>
- Haverkamp, B. F., Wiersma, R., Vertessen, K., Van, H., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults : A meta-analysis performance in adolescents and young adults : A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 38(23), 2637–2660. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1794763>
- Haverkamp, B., Wiersma, R., Vertessen, K., Ewijk, V., Oosterlaan, J., & Hartman, E. (2020). Effects of physical activity interventions on cognitive outcomes and academic performance in adolescents and young adults : A meta-analysis performance in adolescents and young adults : A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 00(00), 1–24. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1794763>
- Haydar, Z. R., Blackman, M. R., Tobin, M. D., & Wright, J. G. (2000). The Relationship Between Aerobic Exercise Capacity and. *Journal of the American Geriatrics Society*, 48(2), 139–145.
- Hayek, L. El, Khalifeh, M., Zibara, V., Assaad, R. A., Emmanuel, N., El-ghandour, R.,

- Nasrallah, P., Bilen, M., Ibrahim, P., Younes, J., Haidar, A., Barmo, N., Jabre, V., Stephan, J. S., Sleiman, S. F., Emmanuel, N., Karnib, N., El-ghandour, R., Nasrallah, P., ... Sleiman, S. F. (2019). Lactate mediates the effects of exercise on learning and memory through SIRT1-dependent activation of hippocampal brain-derived neurotrophic factor ( BDNF ) , Title : Lactate mediates the e. *The Journal of Neuroscience*, 27(39), 2369–2382.
- Hayek, L. El, Khalifeh, M., Zibara, V., Assaad, X. R. A., Emmanuel, X. N., Karnib, N., El-ghandour, R., Nasrallah, X. P., Bilen, M., Ibrahim, P., Younes, J., Haidar, E. A., Barmo, N., Jabre, V., Stephan, J. S., & Sleiman, X. S. F. (2019). Lactate Mediates the Effects of Exercise on Learning and Memory through SIRT1-Dependent Activation of Hippocampal Brain-Derived Neurotrophic Factor ( BDNF ). *The Journal of Neuroscience*, 39(13), 2369–2382.
- Hayes, G., Dowd, K. P., MacDonncha, C., & Donnelly, A. E. (2019). Tracking of Physical Activity and Sedentary Behavior From Adolescence to Young Adulthood: A Systematic Literature Review. *Journal of Adolescent Health*, 65(4), 446–454.  
<https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2019.03.013>
- Heaney, J. L. J., Carroll, D., & Phillips, A. C. (2013). *DHEA , DHEA-S and cortisol responses to acute exercise in older adults in relation to exercise training status and sex*. 395–405.  
<https://doi.org/10.1007/s11357-011-9345-y>
- Heath, M., Weiler, J., Gregory, M. A., Gill, D. P., & Petrella, R. J. (2016). A Six-Month Cognitive-Motor and Aerobic Exercise Program Improves Executive Function in Persons with an Objective Cognitive Impairment: A Pilot Investigation Using the Antisaccade Task. *JOURNAL OF ALZHEIMERS DISEASE*, 54(3), 923–931. <https://doi.org/10.3233/JAD-160288>

- Hebisz, P., Hebisz, R., Murawska-Cialowicz, E., & Zatón, M. (2019). Changes in exercise capacity and serum BDNF Following long-term sprint interval training in well-trained cyclists. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 44(5), 1–33.
- Hejazi, S. M. (2017a). Effects of High Intensity Interval Training on Plasma Levels of GH and IGF-I. *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 6(4), 55–59.
- Hejazi, S. M. (2017b). Effects of high intensity interval training on plasma levels of growth hormone and insulin like growth factor-1 in healthy males. *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 202(1), 199–202.
- Henckens, M. J. A. G., Van Wingen, G. A., Joëls, M., & Fernández, G. (2011). Time-dependent corticosteroid modulation of prefrontal working memory processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(14), 5801–5806.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1019128108>
- Herrera-Agudelo, Aguirre-Loaiza, H., Ortega Diaz, M. de los Á., & Rivas Muñoz, A. C. (2020). Metacognitive Process and Levels of Physical Activity. *Tesis Psicológica*, 16(2), 1–19.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Science and Society*, 9, 58–65.
- Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Noviembre(37), 2243–2257.  
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.005>
- Hötting, K., Schickert, N., Kaiser, J., Röder, B., & Schmidt-kassow, M. (2016). The Effects of Acute Physical Exercise on Memory , Peripheral BDNF , and Cortisol in Young Adults. *NEURAL PLASTICITY*, 2016, 1–12.
- Hsieh, S., Chueh, T., Huang, C., Kao, S., Hillman, C. H., Chang, Y., & Hung, T. (2020).

Systematic review of the acute and chronic effects of high-intensity interval training on executive function across the lifespan. *Journal of Sports Sciences*, 00(00), 1–13.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1803630>

Hsieh, S. S., Chueh, T. Y., Huang, C. J., Kao, S. C., Hillman, C. H., Chang, Y. K., & Hung, T.

M. (2020). Systematic review of the acute and chronic effects of high-intensity interval training on executive function across the lifespan. *Journal of Sports Sciences*, 39(1), 10–22.

<https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1803630>

Huebner, E. S., & Diener, C. (2008). Research on life satisfaction of children and youth:

Implications for the delivery of school-related services. In *The science of subjective well-being*. (pp. 376–392). Guilford Press.

Hurtado-chong, A., Yusta-boyo, J., Vergan, E., Bulfone, A., Pablo, F. De, & Vicario-abejo, C.

(2009). IGF-I promotes neuronal migration and positioning in the olfactory bulb and the exit of neuroblasts from the subventricular zone. *European Journal of Neuroscience*,

30(June), 742–755. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2009.06870.x>

Hurtado, E., Cilleros, V., Nadal, L., Simó, A., Obis, T., Garcia, N., Santafé, M. M., Tomàs, M.,

Halievski, K., Jordan, C. L., Lanuza, M. A., & Tomàs, J. (2017). Muscle Contraction Regulates BDNF / TrkB Signaling to Modulate Synaptic Function through Presynaptic cPKC  $\alpha$  and cPKC  $\beta$  I. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 10(May), 1–22.

<https://doi.org/10.3389/fnmol.2017.00147>

Hüttermann, S., & Memmert, D. (2014). Physiology & Behavior Does the inverted-U function

disappear in expert athletes ? An analysis of the attentional behavior under physical exercise of athletes and non-athletes. *Physiology & Behavior*, 131, 87–92.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.04.020>

- Iborra, R. R. (2012). La estimulación mental como factor potenciador de la reserva cognitiva y del envejecimiento activo. *Información Psicológica*, *104*, 72–83.
- Izzati, N., Zaman, U., Salleh, M. Z., & Marmaya, N. H. (2021). The Effects of Exercise on the Psycho-cognitive Function of Brain- Derived Neurotrophic Factor ( BDNF ) in the Young Adults. *Journal of Cognitive Sciences and Human Development*, *7*(March), 33–56.
- Jeon, Y. K. (2015). Expression of brain-derived neurotrophic factor , IGF-1 and cortisol elicited by regular aerobic exercise in adolescents. *Journal of Physical Therapy Science*, *27*(3), 737\*741.
- Kao, S. C., Westfall, D. R., Soneson, J., Gurd, B., & Hillman, C. H. (2017). Comparison of the acute effects of high-intensity interval training and continuous aerobic walking on inhibitory control. *Psychophysiology*, *54*(9), 1335–1345. <https://doi.org/10.1111/psyp.12889>
- Kao, S., Drollette, E. S., Ritondale, J. P., Khan, N., & Charles, H. (2018). The acute effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous exercise on declarative memory and inhibitory control. *Psychology of Sport & Exercise*.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.05.011>
- Kapoor, A., Petropoulos, S., & Matthews, S. G. (2008). Fetal programming of hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis function and behavior by synthetic glucocorticoids. In *Brain Research Reviews* (Vol. 57, Issue 2, pp. 586–595). Brain Res Rev.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.06.013>
- Kawagoe, T., Onoda, K., & Yamaguchi, S. (2017). Associations among executive function , cardiorespiratory fitness , and brain network properties in older adults. *Nature Publishing Group, January*, 1–9. <https://doi.org/10.1038/srep40107>

- Kelly, J. S., & Metcalfe, J. (2012). Validity and reliability of body composition analysis using the tanita BC418-MA. *Journal of Exercise Physiology Online*, 15(6), 74–83.
- Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014). The impact of cognitive training and mental stimulation on cognitive and everyday functioning of healthy older adults: A systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 15(1), 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.02.004>
- Khaibullina, A. A., Rosenstein, J. M., & Krum, J. M. (2004). *Vascular endothelial growth factor promotes neurite maturation in primary CNS neuronal cultures*. 148, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.devbrainres.2003.09.022>
- Kikyo, H., Ohki, K., & Miyashita, Y. (2002). Neural correlates for feeling-of-knowing: An fMRI parametric analysis. *Neuron*, 36(1), 177–186. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00939-X](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00939-X)
- Kim, Y. (2015). The effect of regular Taekwondo exercise on Brain-derived neurotrophic factor and Stroop test in undergraduate student. *J Exerc Nutrition Biochem*, 19(2), 73–79.
- Kimura, K., Obuchi, S., Arai, T., Nagasawa, H., Shiba, Y., Watanabe, S., Kojima, M., Grandjean, J., Collette, F., Busch, M., Grittner, U., Neuner, B., Rapp, M., Aichberger, M., Jensen, H. B., Nielsen, J. L., Ravnborg, M., Dalgas, U., Aagaard, P., ... Van Heuvelen, M. J. G. G. (2013). EFFECTS OF GROUP EXERCISE PROGRAM WITH EXERCISE PROGRAM USING I-PAD COMPUTER ON PERCEIVED HEALTH STATUS, FLEXIBILITY, STRENGTH, DEPRESSION, AND COGNITIVE FUNCTION OF THE ELDERLY. *GERONTOLOGIST*, 48(1), 1010–1019. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2013.01.035>
- King, K. A., Vidourek, R. A., English, L., & Merianos, A. L. (2014). Vigorous physical activity

among college students: Using the health belief model to assess involvement and social support. *Archives of Exercise in Health and Disease*, 4(2), 267–279.

<https://doi.org/10.5628/aeht.v4i2.153>

Kirk, S. M., Fuchs, W., & Kirk, E. P. (2011). Integrating Physical Activity Into Preschool Classrooms' Academic Lessons Promotes Daily Physical Activity And Improves Literacy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(2), 294.

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=sph&AN=114658914&lang=es&site=e=ehost-live&scope=site>

Knaepen, K., Goekint, M., Heyman, E. M., & Meeusen, R. (2010). Neuroplasticity – Exercise-Induced Response of Peripheral Brain-Derived Neurotrophic Factor A Systematic Review of Experimental Studies in Human Subjects. *Sport Medicine*, 40(9), 765–801.

Koenig, A. M., Bhalla, R. K., & Butters, M. A. (2014). Cognitive functioning and late-life depression. In *Journal of the International Neuropsychological Society* (Vol. 20, Issue 5, pp. 461–467). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1355617714000198>

Kong, Z., Fan, X., Sun, S., Song, L., Shi, Q., & Nie, J. (2016). Comparison of High-Intensity Interval Training and Moderate-to-Vigorous Continuous Training for Cardiometabolic Health and Exercise Enjoyment in Obese Young Women : A Randomized Controlled. *PLOS ONE*, 11(7), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158589>

Kraemer, W. J., Ratamess, N. A., & Nindl, B. C. (2017). Recovery responses of testosterone, growth hormone, and IGF-1 after resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 122(3), 549–558. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00599.2016>

Krames, A., Hahn, S., Cohen, N., Banich, M., Harrison, C., Chason, J., Vakil, E., Bardel, L., Boileau, R., & Colcombe, A. (1999). Ageing , fitness and neurocognitive function. *Nature*,

400, 418–419.

Kringelbach, M. L. (2005). The human orbitofrontal cortex: Linking reward to hedonic experience. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 6, Issue 9, pp. 691–702).

<https://doi.org/10.1038/nrn1747>

Kujach, S., Byun, K., Hyodo, K., & Suwabe, K. (2018). A transferable high-intensity intermittent exercise improves executive performance in association with dorsolateral prefrontal activation in young adults. *NeuroImage*.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.003>

Kujach, S., Olek, R. A., Byun, K., Suwabe, K., Sitek, E. J., Ziemann, E., Laskowski, R., & Soya, H. (2020). Acute Sprint Interval Exercise Increases Both Cognitive Functions and Peripheral Neurotrophic Factors in Humans : The Possible Involvement of Lactate. *Frontier in Neuroscience*, 13(January), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01455>

Kumahara, H., & Ayabe, M. (2019). Title: Individual variations in steps per day for meeting physical activity guidelines in young adult women. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 44(7), 713–719.

Kusky, J. R. O., Ye, P., Ercole, A. J. D., & Carolina, N. (2000). Insulin-Like Growth Factor-I Promotes Neurogenesis and Synaptogenesis in the Hippocampal Dentate Gyrus during Postnatal Development. *The Journal of Neuroscience*, 20(22), 8435–8442.

Kvintová, J., & Sigmund, M. (2016). Physical activity, body composition and health assessment in current female university students with active and inactive lifestyles. *Journal of Physical Education and Sport*, 16(1), 627–632. <https://doi.org/10.7752/jpes.2016.s1100>

Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance : A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12–24.



<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.03.091>

Lanct, K. L., Id, O., & Article, R. (2017). The effect of acute exercise on blood concentrations of brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in healthy adults: A meta-analysis. *European Journal of Ne*, 46(1), 1635–1646. <https://doi.org/10.1111/ijlh.12426>

Laredo, S. A., Steinman, M. Q., Robles, C. F., Ferrer, E., Ragen, B. J., & Trainor, B. C. (2015). Effects of defeat stress on behavioral flexibility in males and females: Modulation by the mu-opioid receptor. *European Journal of Neuroscience*, 41(4), 434–441.

<https://doi.org/10.1111/ejn.12824>

Lasisi, T. J., & Adeniyi, A. F. (2016). Effects of acute exercise on salivary free insulin-like growth factor 1 and interleukin 10 in sportsmen. *African Health Sciences*, 16(2), 560–566.

<https://doi.org/10.4314/ahs.v16i2.25>

Leblanc, V. R. (2009). The effects of acute stress on performance: Implications for health professions education. In *Academic Medicine* (Vol. 84, Issue SUPPL. 10). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3181b37b8f>

Lee, I. M., Shiroma, E. J., Kamada, M., Bassett, D. R., Matthews, C. E., & Buring, J. E. (2019). Association of Step Volume and Intensity with All-Cause Mortality in Older Women. *JAMA Internal Medicine*, 179(8), 1105–1112.

<https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2019.0899>

Lepe-Martínez, N., Cancino-Durán, F., Tapia-Valdés, F., Zambrano-Flores, P., Muñoz-Veloso, P., Gonzalez-San Martínez, I., & Ramos-Galarza, C. (2020). Desempeño en Funciones Ejecutivas de Adultos Mayores: Relación Con su Autonomía y Calidad de Vida. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 29(1), 92–103.

<https://doi.org/10.46997/revecuatneurol29100092>

- Levy, M. J. F., Boulle, F., Steinbusch, H. W., Hove, D. L. A. Van Den, Kenis, G., & Lanfumey, L. (2018). Neurotrophic factors and neuroplasticity pathways in the pathophysiology and treatment of depression. *Psychopharmacology*, *235*, 2195–2220.
- Leyva, C., Lozano, M., Sandoval, H., Garcia, J., Bonilla, M., Sandoval, G., Rosete, G., & Pasante, S. (2014). Factor neurotrófico derivado de la glía : una promesa terapéutica para la enfermedad de Parkinson. *Revista Española Médica Quirúrgica*, *19*, 88–95.
- Lezak, M. D. (1982). The Problem of Assessing Executive Functions. *International Journal of Psychology*, *17*(1–4), 281–297. <https://doi.org/10.1080/00207598208247445>
- Liberto, V., Mudo, G., Fuxe, K., & Belluardo, N. (2014). Interactions Between Cholinergic and Fibroblast Growth Factor Receptors in Brain Trophism and Plasticity. *Current Protein & Peptide Science*, *15*(7), 691–702. <https://doi.org/10.2174/1389203715666140901112245>
- Ligeza, T. S., Maciejczyk, M., Kałamała, P., Szygula, Z., & Wyczesany, M. (2018). Moderate-intensity exercise boosts the N2 neural inhibition marker: A randomized and counterbalanced ERP study with precisely controlled exercise intensity. *Biological Psychology*, *135*(December 2017), 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.04.003>
- Ligtenberg, A. J. M., Brand, H. S., Keijbus, P. A. M. Van Den, & Veerman, E. C. I. (2015). Archives of Oral Biology The effect of physical exercise on salivary secretion of MUC5B , amylase and lysozyme. *Archives of Oral Biology*, *60*(11), 1639–1644. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.07.012>
- Liu-Ambrose, T., Donaldson, M. G., Ahamed, Y., Graf, P., Cook, W. L., Close, J., Lord, S. R., & Khan, K. M. (2008). Otago Home-Based Strength and Balance Retraining Improves Executive Functioning in Older Fallers: A Randomized Controlled Trial. *Journal of the*

*American Geriatrics Society*, 56(10), 1821–1830. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01931.x>

Llamas-velasco, S., Llorente-ayuso, L., Contador, I., & Bermejo-pareja, F. (2015). their use in clinical practice Versiones en español del Minimental State Examination ( MMSE ).

Cuestiones para su uso en la práctica clínica. *Revsita de Neurología*, 61(8), 363–371.

López García, K., Cárdenas Vichique, H., Hernández Ramírez, J., Gómez Figueroa, J., &

Castineyra Mendoza, S. (2022). Y SALUD MENTAL EN UNIVERSITARIOS

EVALUATION OF THE LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY AND MENTAL HEALTH IN UNIVERSITY STUDENTS DURING THE SARS-COV2 PANDEMIC. *Revista*

*Iberoamericana de Ciencias de La Activdiad Física y Del Deporte*, 11(2), 90–103.

<https://doi.org/10.24310/riccafd.2022.v11i2.14701>

Loprinzi, P. D., & Nooe, A. (2016). Executive function influences sedentary behavior: A longitudinal study. *Health Promotion Perspectives*, 6(4), 180–184.

<https://doi.org/10.15171/hpp.2016.29>

Lu, B., Nagappan, G., & Lu, Y. (2014). BDNF and Synaptic Plasticity , Cognitive Function , and Dysfunction. *Handbook of Experimental Pharmacology*, 220, 223–250.

<https://doi.org/10.1007/978-3-642-45106-5>

Lu, Y., Wiltshire, H. D., Baker, J. S., Wang, Q., Ying, S., Li, J., & Lu, Y. (2022). Objectively determined physical activity and adiposity measures in adult women: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 13(August), 1–22.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.935892>

Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., & Holsboer-trachsler, E. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness

groups : A meta-analysis. *Psychophysiology*, 00(00–00), 1–16.

<https://doi.org/10.1111/psyp.12736>

Ludyga, S., Gerber, M., Pühse, U., Looser, V. N., & Kamijo, K. (2020). Systematic review and meta-analysis investigating moderators of long-term effects of exercise on cognition in healthy individuals Sebastian. *Nature Human Behaviour*, 4, 603–612.

<https://doi.org/10.1038/s41562-020-0851-8>

Luna, B. (2009). Developmental changes in cognitive control through adolescence. *Advances in Child Development and Behavior*, 37, 233–278.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19673164>

Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R., & Heim, C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. In *Nature Reviews Neuroscience* (Vol. 10, Issue 6, pp. 434–445). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrn2639>

Luria, A. R. (1976). *The working brain an introduction to neuropsychology* (Basic Books (ed.)).

Luu, P., Collins, P., & Tucker, D. M. (2000). Mood, personality, and self-monitoring: Negative affect and emotionality in relation to frontal lobe mechanisms of error monitoring. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 43–60. <https://doi.org/10.1037//0096-3445.129.1.43>

Lynch, B. M., Healy, G. N., Dunstan, D. W., & Owen, N. (2010). Sedentary versus inactive: Distinctions for disease prevention. *Nature Reviews Cardiology*, 7(11), 2008.

<https://doi.org/10.1038/nrcardio.2010.68-c1>

MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *Journal of Physiology*, 595(9), 2915–2930.

<https://doi.org/10.1113/JP273196>

- Maddock, X. R. J., Casazza, G. A., Fernandez, D. H., & Maddock, M. I. (2016). Acute Modulation of Cortical Glutamate and GABA Content by Physical Activity. *The Journal of Neuroscience*, 36(8), 2449–2457. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3455-15.2016>
- Marín-Jiménez, N., Ruiz-Montero, P. J., De la Flor-Aleman, M., Aranda, P., & Aparicio, V. A. (2020). Association of objectively measured sedentary behavior and physical activity levels with health-related quality of life in middle-aged women: The FLAMENCO project. *Menopause (New York, N.Y.)*, 27(4), 437–443. <https://doi.org/10.1097/GME.0000000000001494>
- Maritza, D., Pacheco, D., Michelena, M. D. L. Á., Salvador, R., González, M., & Miranda, D. O. (2014). *Calidad de vida relacionada con la salud en estudiantes universitarios Quality of life related to health in college students*. 43(2), 157–168.
- Martínez-Díaz, I. C., Escobar-Muñoz, M. C., & Carrasco, L. (2020). Acute effects of high-intensity interval training on brain-derived neurotrophic factor, cortisol and working memory in physical education college students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218216>
- Martínez-Mendoza, G. E. (2019). Executive functions and alcohol consumption in college students: Predictive capacity of evaluation measures. *Revista de Psicología Clínica Con Niños y Adolescentes*, 6(2), 22–29. <https://doi.org/10.21134/rpcna.2019.06.2.3>
- MARTINEZ DÍAZ, I., LUÍS, C. P., BORJA, S. C., MOISÉS LORA, D., & GABRIELA, O. (2011). Cardiovascular Risk Factors, Caloric Intake and Practice of Physical Activity in College Students. a Preliminary Study. *Ovidius University Annals, Series Physical Education & Sport/Science, Movement & Health*, 11(1), 62–66. <http://ezproxy.library.yorku.ca/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true>

e&db=sph&AN=87424731&site=ehost-live

- Martland, R., Mondelli, V., Gaughran, F., Stubbs, B., Martland, R., Mondelli, V., Gaughran, F., Stubbs, B., Martland, R., Mondelli, V., & Gaughran, F. (2020). Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes ? A meta- review of 33 systematic reviews across the lifespan meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan. *Journal of Sports Science*, 38(4), 430–469. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1706829>
- Matthews, V. B., Åström, M., Chan, M. H. S., Bruce, C. R., & Krabbe, K. S. (2009). Brain-derived neurotrophic factor is produced by skeletal muscle cells in response to contraction and enhances fat oxidation via activation of AMP-activated protein kinase. *Diabetologia*, 52(7), 1409–1418. <https://doi.org/10.1007/s00125-009-1364-1>
- McEwen, B. S. (2000). The neurobiology of stress: From serendipity to clinical relevance. *Brain Research*, 886(1–2), 172–189. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(00\)02950-4](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(00)02950-4)
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology*, 31(1), 66–81.
- McMorris, T., Myers, S., MacGillivray, W. W., Sexsmith, J. R., Fallowfield, J., Graydon, J., & Forster, D. (1999). Exercise, plasma catecholamine concentrations and decision-making performance of soccer players on a soccer-specific test. *Journal of Sports Sciences*, 17(8), 667–676. <https://doi.org/10.1080/026404199365687>
- 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), 421–428. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.12.007>
- McNair, D. M., Lorr, M., & Droppleman, L. F. (1992). *Revised manual for the Profile of Mood*

*States. San Diego, CA Educational and Industrial Testing Services. - References - Scientific Research Publishing. Educational and Industrial Testing Services.*

[https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=205009](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=205009)

McNair, D., Lorr, M., & Droppleman, L. (1992). *Revised manual for the profile of mood states* (Issue 27).

Mcnamara, J. M., Swalm, R. L., Stearne, D. J., & Covassin, T. M. (2008). Online weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(4), 1164–1168.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816eb4e0>

McVeigh, J. A., Zhu, K., Mountain, J., Pennell, C. E., Lye, S. J., Walsh, J. P., & Straker, L. M. (2016). Longitudinal Trajectories of Television Watching Across Childhood and

Adolescence Predict Bone Mass at Age 20 Years in the Raine Study. *Journal of Bone and Mineral Research*, 31(11), 2032–2040. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2890>

Meeks, T. W., Vahia, I. V., Lavretsky, H., Kulkarni, G., & Jeste, D. V. (2011). A tune in “a minor” can “b major”: A review of epidemiology, illness course, and public health implications of subthreshold depression in older adults. *Journal of Affective Disorders*, 129(1–3), 126–142. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2010.09.015>

Mehren, A., Luque, C. D., Brandes, M., Lam, A. P., Thiel, C. M., Philipsen, A., & Özyurt, J. (2019). *Intensity-Dependent Effects of Acute Exercise on Executive Function Research*

*Article Intensity-Dependent Effects of Acute Exercise on Executive Function. June.*

<https://doi.org/10.1155/2019/8608317>

Mekari, Said, Earle, M., Martins, R., Drisdelle, S., Killen, M., Bou, V., & Dupuy, O. (2020).

brain sciences E ff ect of High Intensity Interval Training Compared to Continuous Training

on Cognitive Performance in Young Healthy Adults : A Pilot Study. *Brain Sciences*, 10(2), 1–13.

Mekari, Saïd, Fraser, S., Bosquet, L., Bonnéry, C., Labelle, V., Pouliot, P., Lesage, F., & Bherer, L. (2015). The relationship between exercise intensity , cerebral oxygenation and cognitive performance in young adults. *European Journal of Applied Physiology*.  
<https://doi.org/10.1007/s00421-015-3199-4>

Metcalf, R. S., Tardif, N., Thompson, D., & Vollaard, N. B. J. (2016). Changes in aerobic capacity and glycaemic control in response to reduced-exertion high-intensity interval training (REHIT) are not different between sedentary men and women. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 41(11), 1117–1123. <https://doi.org/10.1139/apnm-2016-0253>

Michalos, A. C., Zumbo, B. D., & Hubley, A. (2000). Health and the quality of life. *Social Indicators Research*, 51, 245–286.

Micielska, K., Gmiat, A., Zychowska, M., Kozłowska, M., Walentukiewicz, A., Lysak-radomska, A., Jaworska, J., Rodziewicz, E., Duda-biernacka, B., & Ziemann, E. (2019). The beneficial effects of 15 units of high-intensity circuit training in women is modified by age , baseline insulin resistance and physical capacity. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 152, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2019.05.009>

Middleton, H., Shaw, I., Hull, S., & Feder, G. (2005). NICE guidelines for the management of depression. In *BMJ (Clinical research ed.)* (Vol. 330, Issue 7486, pp. 267–268).  
<https://doi.org/10.1136/bmj.330.7486.267>

Miller, B. L. (2007). The human frontal lobe: An introduction. In *The human frontal lobes: Functions and disorders*, 2nd ed. (pp. 3–11). The Guilford Press.

Miller, M. G., Hanson, N., Tennyck, J., & Plantz, K. (2018). *Comparison of High-Intensity*



*Interval Training ( HIIT ) Volumes on Cognitive Performance. Lv.*

- Miró, E., Cano-Lozano, C., & Buela-Casal, G. (2005). Sueño y calidad de vida. *Revista Colombiana de Psicología*, 14(0), 11–27.  
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/psicologia/article/view/1215>
- Moreau, D., & Chou, E. (2019). The Acute Effect of High-Intensity Exercise on Executive Function: A Meta-Analysis. *Perspectives on Psychological Science*, 14(5), 734–764.  
<https://doi.org/10.1177/1745691619850568>
- Moreau, D., & Conway, A. R. A. (2013). International Review of Sport and Exercise Psychology Cognitive enhancement : a comparative review of computerized and athletic training programs. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 155–183.
- Moreno, J., González-cutre, D., Martínez, C., & López, M. (2008). Propiedades psicométricas de la Physical Activity Enjoyment Scale ( PACES ) en el contexto español. *Estudios de Psicología*, 29(April 2015), 37–41. <https://doi.org/10.1174/021093908784485093>
- Mudo, G., Bonomo, A., Di Liberto, V., Frinchi, M., Fuxe, K., & Belluardo, N. (2009). The FGF-2 / FGFRs neurotrophic system promotes neurogenesis in the adult brain. *Journal of Neural Transmission*, 116(8), 995–1005. <https://doi.org/10.1007/s00702-009-0207-z>
- Mueller, S. T., Piper, B. J., & Manuscript, A. (2012). The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *J Neurosci Methods*, 29, 997–1003.  
<https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.10.024>.The
- Murawska-Cialowicz, E., & Zuwała-Jagiello, J. (2015). CROSSFIT TRAINING CHANGES BRAIN-DERIVED NEUROTROPHIC FACTOR AND IRISIN LEVELS AT REST , AFTER WINGATE AND PROGRESSIVE TESTS , AND IMPROVES AEROBIC CAPACITY AND BODY COMPOSITION. *Journal of Physiology and Pharmacology*,

66(6), 811–821.

Musso, M. (2009). Funciones ejecutivas: Un estudio de los efectos de la pobreza sobre el desempeño ejecutivo. *Interdisciplinaria*, 27(1), 95–110.

Naismith, S. L., Norrie, L. M., Mowszowski, L., & Hickie, I. B. (2012). The neurobiology of depression in later-life: Clinical, neuropsychological, neuroimaging and pathophysiological features. In *Progress in Neurobiology* (Vol. 98, Issue 1, pp. 99–143). Pergamon.

<https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2012.05.009>

Naranjo, M. (2007). Autoestima: Un factor relevante en la vida de la persona y tema esencial del proceso educativo. *Revista Electrónica “Actualidades Investigativas En Educación,”* 1–27.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=44770311>

Narbona, J., & Chevrie-Muller, C. (2000). *El lenguaje del niño :desarrollo normal, evaluación y trastornos* ([1ª ed., r, Issue sp). :Masson.

<http://catalogo.rebiun.org/rebiun/record/Rebiun02617485>

Narici, M., Vito, G. D. E., Franchi, M., Paoli, A., Moro, T., Marcolin, G., Grassi, B., Baldassarre, G., Zuccarelli, L., Biolo, G., Girolamo, G. D. I., Fiotti, N., Dela, F., Greenhaff, P., & Maganaris, C. (2021). Impact of sedentarism due to the COVID-19 home confinement on neuromuscular , cardiovascular and metabolic health : Physiological and pathophysiological implications and recommendations for physical and nutritional countermeasures. *European Journal of Sport Science*, 21(4), 614–635.

<https://doi.org/10.1080/17461391.2020.1761076>

Nguyen, U., Mougin, F., Simon-Rigaud, M., Rouillon, J., Marguet, P., & Regnard, J. (1998).

Influence of exercise duration on serum insulin-like growth factor and its binding proteins in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 78, 533–537.

- Nicolini, C., Toepp, S., Harasym, D., Michalski, B., Fahnestock, M., Gibala, M. J., & Nelson, A. J. (2019). No changes in corticospinal excitability , biochemical markers , and working memory after six weeks of high-intensity interval training in sedentary males. *Physiological Reports*, 7(11), 1–15. <https://doi.org/10.14814/phy2.14140>
- Nihill, G. F. J., Lubans, D. R., & Plotnikoff, R. C. (2013). Associations between sedentary behavior and self-esteem in adolescent girls from schools in low-income communities. *Mental Health and Physical Activity*, 6(1), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2012.02.003>
- Nindl, B., Alemany, J., Rarick, K., Eagle, S., Darnell, M., Katelyn, A., & Harman, E. (2017). Differential basal and exercise-induced IGF-I system responses to resistance vs. calisthenic-based military readiness training programs \_ Enhanced Reader.pdf. *Growth Hormone and IGF Research*, 32(2), 33–40.
- Nishijima, T., Piriz, J., Dufлот, S., Fernandez, A. M., Gaitan, G., Gomez-pinedo, U., Verdugo, J. M. G., Leroy, F., Soya, H., & Nun, A. (2010). Neuronal Activity Drives Localized Blood-Brain-Barrier Transport of Serum Insulin-like Growth Factor-I into the CNS. *Neuron*, 67(5), 834–846. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.08.007>
- Nofuji, Y., Suwa, M., Sasaki, H., Ichimiya, A., & Nishichi, R. (2012). Different circulating brain-derived neurotrophic factor responses to acute exercise between physically active and sedentary subjects. *Journal of Sport Science and Medicine*, 11(1), 83–88.
- Norman, J. E., Rutkowsky, J., Bodine, S., & Rutledge, J. C. (2018). The potential mechanisms of exercise-induced cognitive protection: A literature review. *Curr Pharm Des*, 24(17), 1827–1831. <https://doi.org/10.2174/1381612824666180406105149>.The
- Novoa, C., & Barra, E. (2015). Influencia del apoyo social percibido y los factores de

- personalidad en la satisfacción vital de estudiantes universitarios. *Terapia Psicológica*, 33(3), 239–245.
- Nowak, P. F., Bo, A., & Blukacz, M. (2019). Physical Activity , Sedentary Behavior , and Quality of Life among University Students. *BioMed. Research International*, 2019.
- Ntovas, P., Loumprinis, N., Maniatakos, P., Margaritidi, L., & Rahiotis, C. (2022). The Effects of Physical Exercise on Saliva Composition : A Comprehensive Review. *Dentistry Journal*, 10(7), 1–16.
- OMS. (2019). *Plan de acción mundial sobre actividad física 2018-2030: personas más activas para un mundo más sano*. Organización Mundial de la Salud.
- OMS. (2022). Global status report on physical activity 2022. In *WHO Press, World Health Organization*. <https://www.who.int/teams/health-promotion/physical-activity/global-status-report-on-physical-activity-2022>
- Onat, A., Avci, G. S., Barlan, M. M., Uyarel, H., Uzunlar, B., & Sansoy, V. (2004). Measures of abdominal obesity assessed for visceral adiposity and relation to coronary risk. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders : Journal of the International Association for the Study of Obesity*, 28(8), 1018–1025. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802695>
- Palo, E. F. De, Antonelli, G., Gatti, R., Chiappin, S., Spinella, P., & Cappellin, E. (2007). Effects of two different types of exercise on GH / IGF axis in athletes . Is the free / total IGF-I ratio a new investigative approach ? *International Journal of Clinical Chemistry*, 387(1–2), 71–74. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2007.09.005>
- Pamela Y., Patel, V., Joestl, S. S., March, D., Insel, T. R., Daar, A. S., Bordin, I. A., Costello, E. J., Durkin, M., Fairburn, C., Glass, R. I., Hall, W., Huang, Y., Hyman, S. E., Jamison, K.,

- Kaaya, S., Kapur, S., Kleinman, A., Ogunniyi, A., ... Walport, M. (2011). Grand challenges in global mental health. In *Nature* (Vol. 475, Issue 7354, pp. 27–30). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/475027a>
- Park, C., Rosenblat, J. D., Brietzke, E., Pan, Z., Lee, Y., Cao, B., Zuckerman, H., Kalantarova, A., & McIntyre, R. S. (2019). Neuroscience and Biobehavioral Reviews Stress , epigenetics and depression : A systematic review. *Journal of Clinical and Diagnostic Reserach*, *102*(December 2018), 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.04.010>
- Park, H., & Poo, M. (2013). Neurotrophin regulation of neural circuit development and function. *Nature Reviews Cardiology*, *14*(1), 7–23. <https://doi.org/10.1038/nrn3379>
- Pesce, C. (2009). *An integrated approach to the effect of acute and chronic exercise on cognition: the linked role of individual and task constraints*.
- Pesce, C., & Audiffren, M. (2011). Does acute exercise switch off switch costs? A study with younger and older athletes. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *33*(5), 609–626. <https://doi.org/10.1123/jsep.33.5.609>
- Peterson, N. E., Sirard, J. R., Kulbok, P. A., DeBoer, M. D., & Erickson, J. M. (2018). Sedentary behavior and physical activity of young adult university students. *Research in Nursing and Health*, *41*(1), 30–38. <https://doi.org/10.1002/nur.21845>
- Peyman, N., Rezai-rad, M., Tehrani, H., Gholian-aval, M., & Vahedian-shahroodi, M. (2018). Digital Media-based Health Intervention on the promotion of Women ’ s physical activity : a quasi-experimental study. *BMC Public Health*, *18*(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5025-5>
- Plessow, F., Fischer, R., Kirschbaum, C., & Goschke, T. (2011). Inflexibly focused under stress: Acute psychosocial stress increases shielding of action goals at the expense of reduced

- cognitive flexibility with increasing time lag to the stressor. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3218–3227. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00024](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00024)
- Plotnikoff, R. C., Costigan, S. A., Williams, R. L., Hutchesson, M. J., Kennedy, S. G., Robards, S. L., Allen, J., Collins, C. E., Callister, R., & Germov, J. (2015). Effectiveness of interventions targeting physical activity, nutrition and healthy weight for university and college students: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s12966-015-0203-7>
- Pontifex, M. B., McGowan, A. L., Chandler, M. C., Kathryn, L., Parks, A. C., Fenn, K., & Kamijo, K. (2019). A primer on investigating the after effects of acute bouts of physical activity on cognition. *Psychology of Sport & Exercise*, 40(1), 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.08.015>
- Portellano Pérez, J. A., & García Alba, J. (2014). *Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria* (Sintesis (ed.)).
- Pritzlaff-roy, C. J., Widemen, L., Weltman, J. Y., Abbott, R. O. B., Gutgesell, M., Hartman, M. L., Veldhuis, J. D., Weltman, A., Cathy, J., Widemen, L., Judy, Y., Abbott, R., Gutgesell, M., Mark, L., Veldhuis, J. D., & Weltman, A. (2002). Gender governs the relationship between exercise intensity and growth hormone release in young adults. *Journal Appl. Physiology*, 92(5), 2053–2060.
- Pruunsild, P., Kazantseva, A., Aid, T., Palm, K., & Timmusk, T. (2007). Dissecting the human BDNF locus : Bidirectional transcription , complex splicing , and multiple promoters ☆. *Genomics*, 90(3), 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2007.05.004>
- Ramírez, W., Vinaccia, S., & Ramón, G. (2004). EL IMPACTO DE LA ACTIVIDAD FÍSICA

Y EL DEPORTE SOBRE LA SALUD , LA COGNICIÓN , LA SOCIALIZACIÓN Y EL RENDIMIENTO ACADÉMICO : UNA REVISIÓN TEÓRICA Palabras clave : Key

Words : *Revista de Estudios Sociales*, 18, 67–75.

Ramón y Cajal, S. (1895). *Archiv für Anatomie, Physiologie und Wissenschaftliche Medicin*.

<https://www.biodiversitylibrary.org/item/49216>

Ramos-Brieva, J. A., & Cordero-Villafafila, A. (1988). A new validation of the Hamilton Rating Scale for Depression. *Journal of Psychiatric Research*, 22(1), 21–28.

[https://doi.org/10.1016/0022-3956\(88\)90024-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(88)90024-6)

Ramos-Brieva, J. A., & Cordero Villafáfila, A. (1986). [Validation of the Castillian version of the Hamilton Rating Scale for Depression]. *Actas luso-espanolas de neurologia, psiquiatria y ciencias afines*, 14(4), 324–334.

Ranucci, M., Aloisio, T., Dedda, U. Di, Menicanti, L., de Vincentiis, C., & Baryshnikova, E. (2019). Gender-based differences in platelet function and platelet reactivity to P2Y12 inhibitors. *PLoS ONE*, 14(11), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0225771>

Rathore, A., & Lom, B. (2017). The effects of chronic and acute physical activity on working memory performance in healthy participants : a systematic review with meta-analysis of randomized controlled trials. *Rathore and Lom Systematic Reviews*, 6(124), 1–16.

<https://doi.org/10.1186/s13643-017-0514-7>

Reljic, D., Lampe, D., Wolf, F., Zopf, Y., Herrmann, H. J., & Fischer, J. (2019). Prevalence and predictors of dropout from high-intensity interval training in sedentary individuals: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 29(9), 1288–1304.

<https://doi.org/10.1111/sms.13452>

Rentería, I., García-Suárez, P. C., Martínez-Corona, D. O., Moncada-Jiménez, J., Plaisance, E.

- P., & Jiménez-Maldonado, A. (2019). Short-term high-Intensity interval training increases systemic brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in healthy women. *European Journal of Sport Science*, 20(4), 516–524. <https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1650120>
- Rice, F. (2000). *Adolescencia: desarrollo, relaciones y cultura* (Pearson Educación (ed.); Pearson Ed).
- Rinderknecht, E., & Humbel, R. E. (1978). The Amino Acid Sequence of Human Insulin-like Growth Factor I and Its Structural Homology with Proinsulin\*. *Journal of Biological Chemistry*, 253(8), 2769–2776. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)40889-1](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)40889-1)
- Roberts, C. E., Phillips, L. H., Cooper, C. L., Gray, S., & Allan, J. L. (2017). Effect of Different Types of Physical Activity on Activities of Daily Living in Older Adults: Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Aging and Physical Activity*, 18, 1–44. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0012>
- Robinson, M. M., Lowe, V. J., & Nair, K. S. (2018). Increased Brain Glucose Uptake After 12 Weeks of Aerobic High-Intensity Interval Training in Young and Older Adults Matthew. *Clinical Research Article*, 103(1), 221–227. <https://doi.org/10.1210/jc.2017-01571>
- Rolls, E. T. (2004). The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain and Cognition*, 55(1), 11–29. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00277-X](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00277-X)
- Romeo, J., Batacan, Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health : a systematic review and meta-analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51, 494–503. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095841>
- Rosenberg, M. (1965). *Society and the adolescent self-image* (Princeton,). Princeton, NJ: Princeton University Press,.



- Rosenberg, Morris. (1965). Society and the adolescent self-image. *Princeton*, 11(3), 1–14.
- Rosenblatt, A., & Hopkins, J. (2012). Executive Dysfunction/sleep in the elderly. *Psychiatry*, 35(20). [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?journal=Audio-Digest+Psychiatry&title=Executive+Dysfunction/sleep+in+the+elderly&author=A+Rosenblatt&author=J+Hopkins&volume=35&issue=20&publication\\_year=2006&](https://scholar.google.com/scholar_lookup?journal=Audio-Digest+Psychiatry&title=Executive+Dysfunction/sleep+in+the+elderly&author=A+Rosenblatt&author=J+Hopkins&volume=35&issue=20&publication_year=2006&)
- Ross, L. M., Porter, R. R., & Durstine, J. L. (2016). High-intensity interval training ( HIIT ) for patients with chronic diseases. *Journal of Sport and Health Science*, 5(2), 139–144. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.04.005>
- Ruiz-Ruiz, J., Mesa, J. L. M., Gutiérrez, A., & Castillo, M. J. (2002). Hand size influences optimal grip span in women but not in men. *Journal of Hand Surgery*, 27(5), 897–901. <https://doi.org/10.1053/jhsu.2002.34315>
- Ruiz-Sánchez de León, J. M. (2012). Estimulación cognitiva en el envejecimiento sano, el deterioro cognitivo leve y las demencias: Estrategias de intervención y consideraciones teóricas para la práctica clínica. *Revista de Logopedia, Foniatria y Audiología*, 32(2), 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.rlfa.2012.02.002>
- Ryan, J., Mantle, T., & Costigan, D. (1992). A Normal Population Like Growth Factor Through Puberty. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 74(4), 774–778.
- Saghiv, M. S., Sira, D. Ben, Goldhammer, E., & Sagiv, M. (2017). The effects of aerobic and anaerobic exercises on circulating soluble-Klotho and IGF-I in young and elderly adults and in CAD patients. *Journal of Circulating Biomarkers*, 6, 1–8. <https://doi.org/10.1177/1849454417733388>
- Sala, G. Della, Putignano, E., Chelini, G., Melani, R., Calcagno, E., Ratto, G. M., Amendola, E., Gross, C. T., & Giustetto, M. (2015). Archival Report Dendritic Spine Instability in a

- Mouse Model of CDKL5 Disorder Is Rescued by Insulin-like Growth Factor 1. *Biological Psychiatry*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2015.08.028>
- Salari, N., Hosseinian-far, A., Jalali, R., Vaisi-raygani, A., & Rasoulpoor, S. (2020). Prevalence of stress , anxiety , depression among the general population during the COVID-19 pandemic : a systematic review and meta-analysis. *Globalization and Health*, 1–11.
- Salas-Gomez, D., Fernandez-Gorgojo, M., Pozueta, A., Diaz-Ceballos, I., Lamarain, M., Perez, C., Kazimierczak, M., & Sanchez-Juan, P. (2020). Physical Activity Is Associated With Better Executive Function in University Students. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14(February), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00011>
- Santa-Cruz, C., & Rosas, R. (2017). Mapping of Executive Functions / Cartografía de las Funciones Ejecutivas. *Estudios de Psicología*, 38(2), 284–310. <https://doi.org/10.1080/02109395.2017.1311459>
- Sañudo, B., Fennell, C., & Sánchez-Oliver, A. J. (2020). Objectively-assessed physical activity, sedentary behavior, smartphone use, and sleep patterns preand during-COVID-19 quarantine in young adults from Spain. *Sustainability (Switzerland)*, 12(15), 1–12. <https://doi.org/10.3390/SU12155890>
- Sanz, J., García-Vera, M. P., Espinosa, R., Fortún, M., Vázquez, C., Obreg, R., Erika, M., Godeleva, O., Ortiz, R., Martínez, A. J., & Diario Oficial. (2005). Adaptación española del inventario para la depresión de Beck-II (BDI-II): 3. Propiedades psicométricas en pacientes con trastornos psicológicos. *Clínica y Salud*, 16(2), 121–142. <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=180616104001>
- Sanz, J., Perdigón, A., & Vázquez, C. (2003). Adaptación española del Inventario para la Depresi ó n de Beck-II ( BDI-II ): 2 . Propiedades psicom é tricas en poblaci ó n general

The spanish adaptation of Beck ' s Depression Inventory-II ( BDI-II ): *Clinica y Salud*, 14(3), 249–280.

Saucedo Marquez, C. M., Vanaudenaerde, B., Troosters, T., & Wenderoth, N. (2015). High-intensity interval training evokes larger serum BDNF levels compared with intense continuous exercise. *Journal Appl*, 119(5), 1363–1373.  
<https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00126.2015>

Schiffer, T., Schulte, S., Hollmann, W., Bloch, W., & Struder, H. . (2009). Effects of Strength and Endurance Training on Brain-derived Neurotrophic Factor and Insulin-like Growth Factor 1 in Humans. *Hormone and Metabolic Research*, 41(3), 250–254.  
<https://doi.org/10.1055/s-0028-1093322>

Schmidt-Kassow, M., Schadle, S., Otterbein, S., Thiel, C., Doerhring, A., Lotsch, J., & Kaiser, J. (2012). Kinetics of serum brain-derived neurotrophic factor Following low-intensity versus high-intensity exercise in men and women. *NeuroReport*, 24(23), 889–893.  
<https://doi.org/10.1097/WNR.0b013e32835946ca>

Schmidt, R., Hayn, M., Reinhart, B., Roob, G., Schmidt, H., Schumacher, M., Watzinger, N., & Launer, L. J. (1998). Plasma antioxidants and cognitive performance in middle-aged and older adults: results of the Austrian Stroke Prevention Study. *Journal of the American Geriatrics Society*, 46(11), 1407–1410. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1998.tb06008.x>

Schmolesky, M., Webb, D., & Hansen, R. (2013). The Effects of Aerobic Exercise Intensity and Duration on Levels of Brain- Derived Neurotrophic Factor in Healthy Men. *Journal of Sport Science and Medicine*, 12(3), 502–511.

Schoofs, D., Preuß, D., & Wolf, O. T. (2008). Psychosocial stress induces working memory impairments in an n-back paradigm. *Psychoneuroendocrinology*, 33(5), 643–653.

<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2008.02.004>

Schoofs, D., Wolf, O. T., & Smeets, T. (2009). Cold Pressor Stress Impairs Performance on Working Memory Tasks Requiring Executive Functions in Healthy Young Men. *Behavioral Neuroscience*, *123*(5), 1066–1075. <https://doi.org/10.1037/a0016980>

Schwabe, L., Tegenthoff, M., Höffken, O., & Wolf, O. T. (2012). Simultaneous glucocorticoid and noradrenergic activity disrupts the neural basis of goal-directed action in the human brain. *Journal of Neuroscience*, *32*(30), 10146–10155.

<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1304-12.2012>

Schwarck, S., Schmicker, M., Dordevic, M., Rehfeld, K., Müller, N., & Müller, P. (2019). Inter-Individual Differences in Cognitive Response to a Single Bout of Physical Exercise—A Randomized Controlled Cross-Over Study. *Journal of Clinical Medicine*, *8*(8), 1101.

<https://doi.org/10.3390/jcm8081101>

Segar, M., Jayaratne, T., Hanlon, J., & Richardson, C. (2008). Fitting Fitness into Women's Lives: Effects of a Gender-tailored Physical Activity Intervention. *Women's Health Issues*, *12*(6), 338–347.

Seifert, T., Brassard, P., Wissenberg, M., Peter, R., Nordby, P., Stallknecht, B., Adeser, H., Jakobsen, A., Pilegaard, H., Nielsen, H., & Secher, N. (2010). Endurance training enhances BDNF release from the human brain. *American Journal of Physiology*, *29*(8), 372–377.

Seifert, T., Brassard, P., Wissenberg, M., Rasmussen, P., Nordby, P., Stallknecht, B., Adser, H., Jakobsen, A. H., Pilegaard, H., Nielsen, H. B., Secher, N. H., Stallknecht, B., Adser, H., Ah, J., Pilegaard, H., & Hb, N. (2021). Endurance training enhances BDNF release from the human brain. *Amerian Journal Physiology Regul Integr Comp Physio*, *298*(2), 372–377.

<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00525.2009>

- Shallice, T., & Burgess, P. (2001). Higher-order cognitive impairments and frontal lobe lesions in man. - PsycNET. In *Oxford University*. <https://psycnet.apa.org/record/1992-97203-006>
- Sharma, A. N., Fernando, B., Soares, J. C., Carvalho, A. F., & Quevedo, J. (2016). Role of trophic factors GDNF , IGF-1 and VEGF in major depressive disorder : A comprehensive review of human studies. *Journal of Affective Disorders, 197*, 9–20.  
<https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.02.067>
- Shekleton, J. A., Rogers, N. L., & Rajaratnam, S. M. W. (2010). Searching for the daytime impairments of primary insomnia. In *Sleep Medicine Reviews* (Vol. 14, Issue 1, pp. 47–60). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2009.06.001>
- Sherwin, B. B. (2000). Mild Cognitive Impairment: Potential Pharmacological Treatment Options. *Journal of the American Geriatrics Society, 48*(4), 431–441.  
<https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2000.tb04703.x>
- Shields, G. S., Bonner, J. C., & Moons, W. G. (2015). Does cortisol influence core executive functions? A meta-analysis of acute cortisol administration effects on working memory, inhibition, and set-shifting. *Psychoneuroendocrinology, 58*, 91–103.  
<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2015.04.017>
- Shimamura, A. P. (2000). The role of the prefrontal cortex in dynamic filtering. *Psychobiology, 28*(2), 207–218.
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K., Browndyke, J. N., & Sherwood, A. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance: A meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic Medicine, 72*(3), 239–252. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181d14633>
- Sousa, A. F. M. De, Medeiros, A. R., & Benitez-flores, S. (2018). Improvements in Attention

and Cardiac Autonomic Modulation After a 2-Weeks Sprint Interval Training Program : A Fidelity Approach. *Frontiers in Physiology*, 9(March), 1–9.

<https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00241>

Sprinkle, S. D., Lurie, D., Insko, S. L., Atkinson, G., Jones, G. L., Logan, A. R., & Bissada, N.

N. (2002). Criterion validity, severity cut scores, and test-retest reliability of the Beck Depression Inventory-II in a university counseling center sample. *Journal of Counseling Psychology*, 49, 381–385. <https://doi.org/10.1037/0022-0167.49.3.381>

Stanley, R. M., Jones, R. A., Cliff, D. P., Trost, S. G., Berthelsen, D., Salmon, J., Batterham, M.,

Eckermann, S., Reilly, J. J., Brown, N., Mickle, K. J., Howard, S. J., Hinkley, T., Janssen, X., Chandler, P., Cross, P., Gowers, F., & Okely, A. D. (2016). Increasing physical activity among young children from disadvantaged communities: study protocol of a group randomised controlled effectiveness trial. *BMC Public Health*, 16(1), 1095.

<https://doi.org/10.1186/s12889-016-3743-0>

Stein, A. M., Silva, T. M. V., Coelho, F. G. de M., Arantes, F. J., Costa, J. L. R., Teodoro, E., &

Santos-Galduróz, R. F. (2018). Physical exercise, IGF-1 and cognition: A systematic review of experimental studies in the elderly. *Dementia e Neuropsychologia*, 12(2), 114–122.

<https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn12-020003>

Strine, T. W., Hootman, J. M., Chapman, D. P., Okoro, C. A., & Balluz, L. (2005). Health-

related quality of life, health risk behaviors, and disability among adults with pain-related activity difficulty. In *American Journal of Public Health* (Vol. 95, Issue 11, pp. 2042–2048). Am J Public Health. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2005.066225>

Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M., & Reinhardt, R. (2009). Neuropsychological Rehabilitation : An

International Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults.

*Neuropsychological Rehabilitation: An International Journal*, 19(2), 37–41.

<https://doi.org/10.1080/09602010802091183>

Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S., Weidemann, W., Bös, K., & Spitzer, M. (2010). Neurobiology of Learning and Memory 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.

<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2010.08.003>

Szuhany, K. L., Bugatti, M., & Otto, M. W. (2015). A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Psychiatric Research*, 60, 56–64.

<https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2014.10.003>

Tapia, A. (2017). Propuesta de control de la carga de entrenamiento y la fatiga sin medios económicos. *Revista Española de Educación Física y Deporte*, 417(April), 55–69.

Tarnopolsky, A., & Gibala, M. J. (2016). Twelve Weeks of Sprint Interval Training Improves Indices of Cardiometabolic Health Similar to Traditional Endurance Training despite a Five-Fold Lower Exercise Volume and Time Commitment. *PLoS ONE*, 26(11), 1–14.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154075>

Taylor, L., Wilborn, C., Kreider, R., & Willoughby, D. (2012). Effects of resistance exercise intensity on extracellular signal-regulated kinase activation in men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 599–607.

Taylor, S. (2007). Psicología de la salud.2007. In *McGraw-Hill. Madrid*.

[http://apsom.es/index.php/revista-de-psicooncologia/numeros-anteriores/2-](http://apsom.es/index.php/revista-de-psicooncologia/numeros-anteriores/2-uncategorised/462-a2008-v5-n1-a15)

[uncategorised/462-a2008-v5-n1-a15](http://apsom.es/index.php/revista-de-psicooncologia/numeros-anteriores/2-uncategorised/462-a2008-v5-n1-a15)

Teicher, M. H., Andersen, S. L., Polcari, A., Anderson, C. M., Navalta, C. P., & Kim, D. M.

- (2003). The neurobiological consequences of early stress and childhood maltreatment. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 27(1–2), 33–44. [https://doi.org/10.1016/S0149-7634\(03\)00007-1](https://doi.org/10.1016/S0149-7634(03)00007-1)
- Thoits, P. A. (1986). Social support as coping assistance. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 54(4), 416–423. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.54.4.416>
- Tirapu-Ustárrroz, J., Garcia Molina, A., Rios-Lago, M., & Ardila Ardila, A. (2012). *Neuropsicología de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas*. Barcelona: Viguera.
- Tirapu-Ustárrroz, J., & Muñoz-Céspedes, J. M. (2005). Memoria y funciones ejecutivas. *Revista de Neurología*, 41(8), 475–484.
- Tirapu Ustárrroz, J., & Muñoz Céspedes, J. M. (2005). Memoria y funciones ejecutivas. *Revista de Neurología*, 41(08), 475. <https://doi.org/10.33588/rn.4108.2005240>
- Trejo, J. L., Llorens-Martín, M. V., & Torres-Alemán, I. (2008). The effects of exercise on spatial learning and anxiety-like behavior are mediated by an IGF-I-dependent mechanism related to hippocampal neurogenesis. *Molecular and Cellular Neuroscience*, 37(2), 402–411. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2007.10.016>
- Tremblay, M. S., Aubert, S., Barnes, J. D., Saunders, T. J., Carson, V., Latimer-Cheung, A. E., Chastin, S. F. M., Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J. M., Aminian, S., Arundell, L., Hinkley, T., Hnatiuk, J., Atkin, A. J., Belanger, K., Chaput, J. P., Gunnell, K., Larouche, R., Manyanga, T., ... Wondergem, R. (2017). Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0525-8>
- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Takeuchi, T., Tanaka, D., Hamaoka, T., Hashimoto, T., & Isaka, T. (2017). An acute bout of localized resistance exercise can rapidly improve



- inhibitory control. *Plos One*, *12*(9), 1–16.
- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T., & Hashimoto, T. (2016). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiology and Behavior*, *155*, 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.021>
- Tudor-Locke, C., Schuna, J. M., Han, H., Aguiar, E. J., Green, M. A., Busa, M. A., Larrivee, S., & Johnson, W. D. (2017). Step-Based Physical Activity Metrics and Cardiometabolic Risk: NHANES 2005-2006. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *49*(2), 283–291. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001100>
- Turnbull, O. (2002). The Executive Brain: Frontal Lobes and the Civilized Mind. *Neuropsychoanalysis*, *4*(2), 206–208. <https://doi.org/10.1080/15294145.2002.10773402>
- U.S. National Library of Medicine. (2019). *rs6265*. Rs6265. [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/rs6265?horizontal\\_tab=true](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/rs6265?horizontal_tab=true)
- Unick, J. L., Lang, W., Tate, D. F., Bond, D. S., Espeland, M. A., & Wing, R. R. (2017). Objective Estimates of Physical Activity and Sedentary Time among Young Adults. *Journal of Obesity*, *2017*. <https://doi.org/10.1155/2017/9257564>
- Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, *135*(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- Ustárroz, J., García-Molina, A., Rios-Lago, M., & Ardila, A. (2012). *Neuropsicología de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas*.
- Vázquez Morejón, A., Jiménez García-Bóveda, R., & Vázquez-Morejón Jiménez, R. (2004). Escala de autoestima de Rosenberg: fiabilidad y validez en población clínica española.

*Apuntes De Psicología*, 22(2), 247–255.

Velloso, C. (2018). Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *British Journal of Pharmacology*, 154(3), 557–568.

Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J. A., & Oosterlaan, J. (2013). *Physical exercise and executive functions in preadolescent children , adolescents and young adults : a meta-analysis*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091441>

Vilagut, G., Ferrer, M., Rajmil, L., Rebollo, P., Permanyer-Miralda, G., Quintana, J. M., Santed, R., Valderas, J. M., Ribera, A., Domingo-Salvany, A., & Alonso, J. (2005). El Cuestionario de Salud SF-36 español: una década de experiencia y nuevos desarrollos. *Gaceta Sanitaria*, 19(2), 135–150. <https://doi.org/10.1157/13074369>

W. de Greeff, J., Bosker, R., Oosterlaan, J., Visscher, C., & Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children\_ a meta-analysis \_ Enhanced Reader.pdf. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21, 501–507.

Wagner, G., Herbsleb, M., De, F., Schumann, A., Köhler, S., Puta, C., Gabriel, H. W., Reichenbach, J. R., & Bär, K. (2017). Changes in fMRI activation in anterior hippocampus and motor cortex during memory retrieval after an intense exercise intervention. *Biological Psychology*, 124, 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2017.01.003>

Wahl, P., Zinner, C., Achtzehn, S., Bloch, W., & Mester, J. (2010). Effect of high- and low-intensity exercise and metabolic acidosis on levels of GH, IGF-I, IGFBP-3 and cortisol. *Growth Hormone and IGF Research*, 20(5), 380–385.

<https://doi.org/10.1016/j.ghir.2010.08.001>

Wang, B., Guo, W., & Zhou, C. (2016). Selective enhancement of attentional networks in

college table tennis athletes : a preliminary investigation. *Peer Journal*.

<https://doi.org/10.7717/peerj.2762>

Weaver, S. R., Skinner, B. D., Furlong, R., Lucas, R. A. I., Cable, N. T., Rendeiro, C., Mcgettrick, H. M., Lucas, S. J. E., & Walsh, J. J. (2021). Cerebral Hemodynamic and Neurotrophic Factor Responses Are Dependent on the Type of Exercise. *Frontier in Physiology*, 11(January), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.609935>

Wechsler, D. (1949). Wechsler Intelligence Scale for Children; manual. In *Wechsler Intelligence Scale for Children; manual*. The Psychological Corp.

Weltman, A., Despres, J. P., Clasey, J. L., Weltman, J. Y., Wideman, L., Kanaley, J., Patrie, J., Bergeron, J., Thorner, M. O., Bouchard, C., & Hartman, M. L. (2003). Impact of Abdominal Visceral Fat , Growth Hormone , Fitness , and Insulin on Lipids and Lipoproteins in Older Adults. *Metabolism*, 52(1), 73–80.

<https://doi.org/10.1053/meta.2003.50007>

Weng, T. B., Pierce, G. L., Darling, W. G., & Voss, M. W. (2015). *Differential Effects of Acute Exercise on Distinct Aspects of Executive Function*. 36, 1460–1469.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000542>

Werner, S., Unsicker, K., & Bohlen, O. Von. (2011). Fibroblast Growth Factor-2 Deficiency Causes Defects in Adult Hippocampal Neurogenesis , Which Are Not Rescued by Exogenous Fibroblast Growth Factor-2. *Journal of Neuroscience Research*, 1617(December 2010), 1605–1617. <https://doi.org/10.1002/jnr.22680>

Weston, K. S., Wisløff, U., & Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease : a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227–1234. <https://doi.org/10.1136/bjsports->

2013-092576

- Wilke, J., Mohr, L., Yuki, G., Bhundoo, A. K., Jiménez-Pavón, D., Laiño, F., Murphy, N., Novak, B., Nuccio, S., Ortega-Gómez, S., Pillay, J. D., Richter, F., Rum, L., Sanchez-Ramírez, C., Url, D., Vogt, L., & Hespanhol, L. (2022). Train at home, but not alone: a randomised controlled multicentre trial assessing the effects of live-streamed tele-exercise during COVID-19-related lockdowns. *British Journal of Sports Medicine*, *56*(12), 667–675. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104994>
- William, J. (1890). The Principles of Psychology, and experimental psychology. *Journal, The Folklore, American*, *100*(397), 305–307.
- Winter, B., Breitenstein, C., Mooren, F. C., Voelker, K., Fobker, M., Lechtermann, A., Krueger, K., Fromme, A., Korsukewitz, C., Floel, A., & Knecht, S. (2007). High impact running improves learning. *Neurobiology of Learning and Memory*, *87*(4), 597–609. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2006.11.003>
- Wlodarczyk, J. H., Brodaty, H., & Hawthorne, G. (2004). The relationship between quality of life, Mini-Mental State Examination, and the Instrumental Activities of Daily Living in patients with Alzheimer’s disease. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *39*(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2003.12.004>
- Woodbury, M. E., & Ikezu, T. (2014). *Fibroblast Growth Factor-2 Signaling in Neurogenesis and Neurodegeneration*. *4*, 92–101. <https://doi.org/10.1007/s11481-013-9501-5>
- World Health Organization. (2018). Living with global imbalances: A contrarian view. In *World Health Organization* (Vol. 28, Issue 6). <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2006.06.007>
- Wrann, C. D., White, J. P., Salogiannis, J., Laznik-bogoslavski, D., Wu, J., Ma, D., Lin, J. D., Greenberg, M. E., & Spiegelman, B. M. (2013). Exercise Induces Hippocampal BDNF

through a PGC-1  $\alpha$  / FNDC5 Pathway. *Cell Metabolism*, 18(5), 649–659.

<https://doi.org/10.1016/j.cmet.2013.09.008>

Wu, Y. W. C., Du, X., Van Den Buuse, M., & Hill, R. A. (2015). Analyzing the influence of BDNF heterozygosity on spatial memory response to 17 $\beta$ -estradiol. *Translational Psychiatry*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/tp.2014.143>

Xu, X., Miller, E. C., Pozzo-Miller, L., Heck, N., Pierre, U., Curie, M., Powell, C. M., & Dudek, S. (2014). Dendritic spine dysgenesis in Rett syndrome. *Frontier in Neuroanatomy*, 8(97). <https://doi.org/10.3389/fnana.2014.00097>

Xue, Y. (2019). Effects of chronic exercise interventions on executive function among children and adolescents : a systematic review with meta-analysis. *British Journal Medical*, 0(1), 1–9. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099825>

Yamada, M. K. (2016). Mini-Review Angiogenesis in refractory depression : A possible phenotypic target to avoid the blood brain barrier. *Drug Discoveries and Therapeutics*, 10(2), 74–78. <https://doi.org/10.5582/ddt.2016.01003>

Yang, T., Nie, Z., Shu, H., Kuang, Y., Chen, X., & Cheng, J. (2020). The Role of BDNF on Neural Plasticity in Depression. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 14(April), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fncel.2020.00082>

Yang, Y., Cao, S., Shields, G. S., Teng, Z., & Liu, Y. (2017). The relationships between rumination and core executive functions: A meta-analysis. *Depression and Anxiety*, 34(1), 37–50. <https://doi.org/10.1002/da.22539>

Yates, A., Akanni, W., Amode, M. R., Barrell, D., Billis, K., Carvalho-silva, D., Cummins, C., Clapham, P., Fitzgerald, S., Gordon, L., Hourlier, T., Hunt, S. E., Gil, L., Garc, C., Janacek, H., Johnson, N., Juettemann, T., Keenan, S., Lavidas, I., ... Flicek, P. (2016). *Ensembl*

2016. 44(December 2015), 710–716. <https://doi.org/10.1093/nar/gkv1157>

Yau, S., Gil-mohapel, J., Christie, B. R., & So, K. (2014). Physical Exercise-Induced Adult Neurogenesis : A Good Strategy to Prevent Cognitive Decline in Neurodegenerative Diseases ? *BioMed. Research International*, 2014, 1–20.

<https://doi.org/10.1155/2014/403120>

Ye, P., Hu, Q., Liu, H., Yan, Y., & D’Ercole, A. J. (2010).  $\beta$ -catenin mediates insulin-like growth factor-I actions to promote cyclin D1 mRNA expression, cell proliferation and survival in oligodendroglial cultures. *Glia*, 58(9), 1031–1041.

<https://doi.org/10.1002/glia.20984>

Zaletel, I. (2017). Hippocampal BDNF in physiological conditions and social isolation. *Reviews in the Neurosciences*, 28(6), 675–692. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2016-0072>

Zhang, J., & Jemmott, J. (2019). Mobile App-Based Small-Group Physical Activity Intervention for Young African American Women : a Pilot Randomized Controlled Trial. *Prevention Science*, 20(6), 863–872.

Zhang, Y., Zhang, B., Gan, L., Ke, L., Fu, Y., & Di, Q. (2020). *Effects of Online Physical Activity Intervention & Health Education on Mental Health and Cognition in Sedentary Young Females*. 1–13.

Zhang, Y., Zhang, B., Gan, L., Ke, L., Fu, Y., Di, Q., & Ma, X. (2021). Effects of Online Bodyweight High-Intensity Interval Training Intervention and Health Education on the Mental Health and Cognition of Sedentary Young Females. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 1–15.

Zimprich, D., & Kurtz, T. (2013). Individual differences and predictors of forgetting in old age: the role of processing speed and working memory. *Neuropsychology, Development, and*

*Cognition. Section B, Aging, Neuropsychology and Cognition*, 20(2), 195–219.

<https://doi.org/10.1080/13825585.2012.690364>

Zúñiga, A. S. (2017). Neurogénesis y actividad física. *Revista Neurología, Neurocirugía y Psiquiatría*, 37(4), 167–170.

