

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA:

*EFFECTO DEL EJERCICIO FÍSICO EN EL RENDIMIENTO ACADÉMICO
O COGNITIVO DE LOS ADOLESCENTES Y CUÁL ES EL PAPEL DEL
BDNF EN ESTA RELACIÓN*



Titulación: Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

Universidad: Miguel Hernández de Elche

Curso Académico: 2025-2026

Alumno: Christian Mira Llopis

Tutor académico: Diego Pastor Campos

ÍNDICE

1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	3
2. METODOLOGÍA.....	3
2.1 Pregunta de investigación y estrategia PICO.....	3
2.2 Criterios de inclusión y exclusión.....	4
2.3 Estrategia de búsqueda y fuentes de información.....	4
2.4 Proceso de selección y extracción de datos.....	4
3. DESARROLLO.....	5
3.1 Tabla de extracción de datos.....	5
3.2 Análisis detallado de los estudios incluidos.....	6
3.3 Evaluación de la calidad metodológica.....	7
3.4 Historia del problema y síntesis de resultados.....	7
4. DISCUSIÓN.....	8
4.1 Síntesis e interpretación de los hallazgos.....	8
4.2 El papel del fitness como moderador de la respuesta.....	8
4.3 El enigma del BDNF en adolescentes.....	8
4.4 Especificidad de la tarea.....	8
4.5 Limitaciones y prospectiva.....	9
5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.....	9
6. BÚSQUEDA IA DE LAS BASES DEL CONOCIMIENTO.....	10
6.1 Diagrama de flujos PRISMA del proceso de búsqueda y selección de la evidencia científica complementaria.....	10
6.2 Tabla de datos de la evidencia científica complementaria recopilada en las diferentes bases de datos de inteligencia artificial.....	11
6.3 Discusión.....	25
6.4 Propuesta de intervención.....	25
7. BIBLIOGRAFÍA.....	26

1. CONTEXTUALIZACIÓN

La adolescencia presenta una ventana de oportunidad biológica única, caracterizada por una maduración cerebral crítica, especialmente en regiones vinculadas a las funciones ejecutivas, como la corteza prefrontal. Estas funciones que incluyen el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, no sólo son esenciales para el comportamiento social, sino que constituyen la base neurocognitiva para el aprendizaje complejo y el éxito académico.

Sin embargo, este periodo de optimización neurológica coincide con una crisis pública: el aumento del sedentarismo y el abandono de la actividad física en favor de comportamientos ligados al uso de pantallas. Esta inactividad no solo compromete la salud física, sino que podría limitar el potencial cognitivo de los estudiantes en una etapa donde el cerebro es particularmente sensible a los estímulos ambientales.

En este escenario, el ejercicio físico ha emergido como una intervención no farmacológica prometedora. La literatura científica sugiere que tanto el ejercicio agudo como el crónico pueden potenciar la cognición. No obstante, la evidencia en población adolescente es mucho más escasa y heterogénea en comparación con estudios en adultos mayores.

Uno de los mayores desafíos actuales es comprender los mecanismos biológicos que median esta relación. El candidato principal es el BDNF, una proteína esencial para la neuroplasticidad y la consolidación de la memoria. Aunque la hipótesis teórica postula que el ejercicio aumenta los niveles de BDNF y esto mejora la función ejecutiva, los resultados empíricos en adolescente son ambiguos y a menudo contradictorios. Estudios recientes han fallado en encontrar cambios significativos en el BDNF periférico tras programa de alta intensidad o sesiones de deportes de equipo, lo que plantea dudas sobre si el BDNF en sangre es un marcador fiable o si la dosis de ejercicio aplicada ha sido insuficiente.

Además, existe una variable crítica que parece modular estos efectos: la condición física de base. Se ha sugerido que los beneficios cognitivos del ejercicio podrían estar reservados para aquellos adolescentes con una mayor capacidad cardiorrespiratoria previa, dejando a los sujetos menos aptos en una situación de desventaja metabólica y cognitiva tras el esfuerzo.

Por todo ello, surge la necesidad de abordar la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué efecto tiene el ejercicio físico sobre el rendimiento académico o cognitivo de los adolescentes en edad escolar y cuál es el papel del BDNF en esta relación?

Resolver esta incertidumbre es fundamental por dos razones:

A nivel práctico porque permitiría diseñar programas optimizados de Educación Física para potenciar el rendimiento académico mediante dosis específicas de intensidad y a nivel teórico porque ayudaría a clarificar si el BDNF es realmente un mediador clave en humanos o si debemos explorar otros mecanismos neurobiológicos en esta etapa de desarrollo.

2. METODOLOGÍA

En este apartado se describe el procedimiento seguido para la identificación, selección y evaluación crítica de los estudios incluidos en la presente revisión, siguiendo las recomendaciones de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

2.1 Pregunta de investigación y estrategia PICO

Para delimitar el alcance de la revisión, se formuló la pregunta de investigación siguiendo el formato PICO (Población, Intervención, Comparación y Resultados):

- P (Población): Adolescentes en edad escolar (11-18 años).

- I (Intervención): Práctica de ejercicio físico (agudo o crónico).
- C (Comparación): Grupos de control (sin ejercicio físico) y grupos de ejercicio físico.
- O (Resultado/Outcome): Cambios en el rendimiento cognitivo o académico, mediados por los niveles de BDNF.

PREGUNTA PICO: ¿En adolescentes (P), la práctica de ejercicio físico (I) en comparación con no realizar ejercicio físico(C), mejora el expediente académico o rendimiento cognitivo a través del aumento de los niveles de BDNF (O)?

2.2 Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron criterios estrictos para garantizar la homogeneidad y calidad de la muestra de estudios.

INCLUSIÓN	EXCLUSIÓN
Ensayos clínicos y ensayos controlados aleatorizados (ECA).	Revisiones narrativas, editoriales o estudios de caso único.
Adolescentes 11-18 años.	Adultos o fuera de rango.
Intervención basada en ejercicio físico o actividad física.	Estudios que no incluya ejercicio físico o actividad física.
Medición de BDNF, resultados académicos o rendimiento cognitivo.	Sin medición de BDNF ni resultados académicos ni cognitivos.
Publicados en 2008-2025.	Publicaciones anteriores a 2008.

2.3 Estrategia de búsqueda y fuentes de información

La búsqueda bibliográfica se centró en la base de datos PubMed, considerada la principal fuente de literatura biomédica. Se diseñó una cadena de búsqueda combinando términos MeSH (Medical Subject Headings) y palabras clave en lenguaje natural mediante operadores booleanos (AND, OR).

- Bloque 1 (Población): ("adolescent" OR "teenager" OR "young people").
- Bloque 2 (Cognición): ("learning" OR "cognition" OR "cognitive function" OR "academic achievement").
- Bloque 3 (Ejercicio): ("physical activity" OR "exercise").
- Bloque 4 (Mecanismo): ("BDNF" OR "brain derived neurotrophic factor").

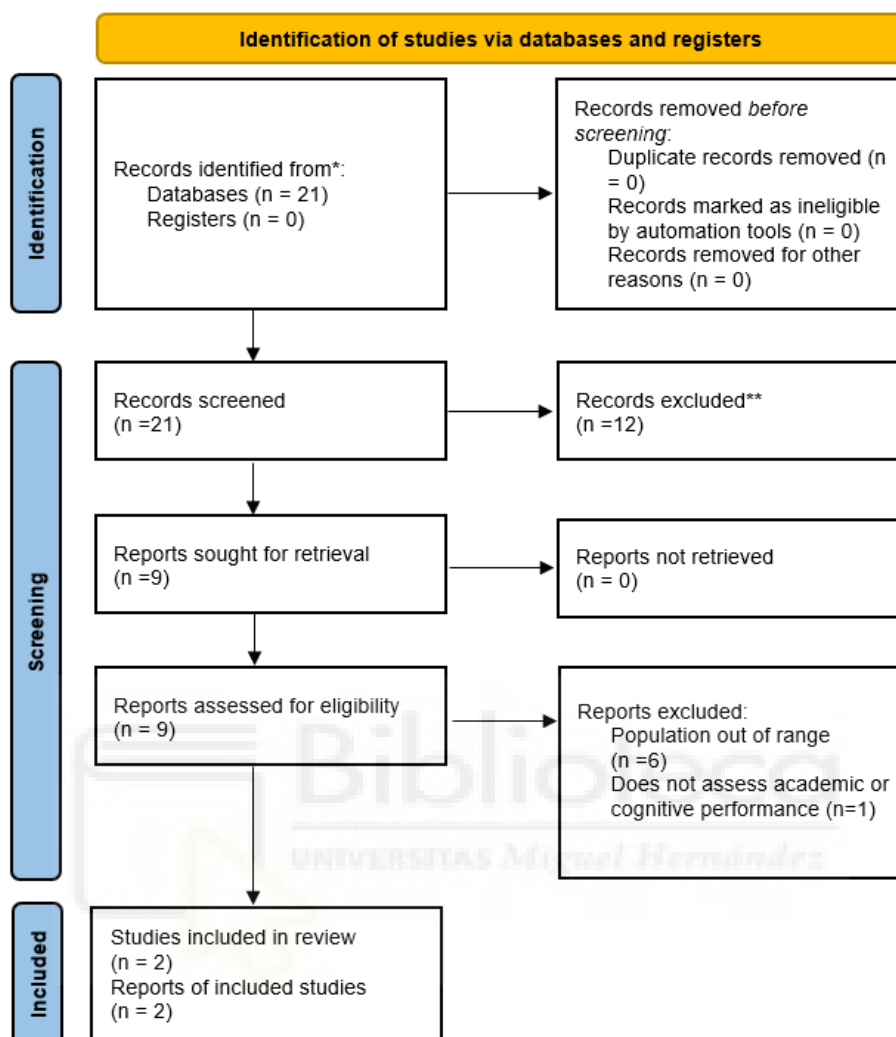
La cadena final resultante fue: ("adolescent" OR "teenager" OR "young people") AND ("learning" OR "cognition" OR "cognitive function" OR "academic achievement") AND ("physical activity" OR "exercise") AND ("BDNF" OR "brain derived neurotrophic factor").

2.4 Proceso de selección y extracción de datos

El proceso de cribado se realizó en tres fases:

1. Identificación: Se obtuvieron 21 resultados iniciales en la base de datos.
2. Cribado (Screening): Se revisaron títulos y resúmenes, seleccionando 9 artículos potencialmente relevantes.

3. Inclusión: Tras la lectura a texto completo y la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se incluyeron 2 artículos finalmente.



Fuente: Prisma

3. DESARROLLO

En este apartado se presentan de forma detallada los hallazgos de los dos estudios seleccionados tras el proceso de cribado. La evidencia se divide en 2 bloques: un estudio sobre el efecto del ejercicio agudo y otro sobre el efecto del ejercicio crónico.

3.1 Tabla de extracción de datos

A continuación, se sintetizan las características principales, el diseño y los resultados de los artículos incluidos:

Autor (año)	País	Diseño	Muestra	Edad media	Intervención	Medición BDNF	Medición cognitiva/ expediente académico	Principales resultados
Williams et al. (2020)	Reino Unido	Ensayo cruzado aleatorizado (crossover)	36 adolescentes, 2 grupos: alta condición física y baja condición	12,6 años	60 min de fútbol al aire libre y prueba control 60 minutos sentados en aula, cada participante realizó las 2 pruebas	Sangre, capilar, antes y después de cada prueba, justo al acabar, a los 30', 60' y 2h	Pruebas cognitivas Stroop (inhibición) y Sternberg (memoria de trabajo). Antes y después justo al acabar, a los 45' y a los 90'	Mejora la memoria de trabajo solo en sujetos con buena condición física. Sin cambios en BDNF
Gejl et al. (2024)	Dinamarca	Ensayo controlado aleatorizado (RCT)	121 adolescentes: 85 acabaron 3 grupos: hiit, mit y control	17,9 años	9 semanas, 3x/semana 30': ciclismo y carrera, HIT (80–100% HRR), MIT (60–70% HRR), o control	Plasma, muestra sangre en reposo, antes y después Se midió días antes y días después	Flanker test (control inhibitorio) Antes y después de la intervención. Se midió días antes y después	Sin cambios significativos en BDNF, no mejora estadísticamente significativa en el control inhibitorio

Fuente: Elaboración propia

3.2 Análisis detallado de los estudios incluidos

- “Effect of football activity and physical fitness on information processing, inhibitory control and working memory in adolescents” (Williams et al., 2020).

Este estudio exploró si una sesión de fútbol mejoraba la cognición y si la condición física previa actuaba como moderador. Los resultados indicaron que no hubo un beneficio general para todo el grupo tras el ejercicio, sin embargo, se descubrió que los adolescentes con mayor aptitud física presentaban tiempos de respuesta más rápidos en todas las tareas cognitivas de forma basal. Tras la sesión de fútbol solo este grupo mejoró significativamente su memoria de trabajo, pero, en cuanto al BDNF sérico, no se observó ninguna alteración tras la actividad, independientemente del nivel de forma física. En definitiva, aquellos con una buena condición física previa parecen beneficiarse más.

- “Effects of 9 Weeks of High- or Moderate- Intensity Training on Cardiorespiratory Fitness, Inhibitory Control, and Plasma Brain- Derived Neurotrophic Factor in Danish Adolescents” —A Randomized Controlled Trial (Gejl et al., 2024).

Esta intervención de 9 semanas comparó el entrenamiento de alta intensidad con el de moderada intensidad. Aunque en el grupo de alta intensidad logró una mejora en el VO₂max en comparación con el grupo de moderada intensidad, esto no se tradujo en una mejora estadísticamente significativa del control inhibitorio, pero sí se observó una tendencia de

mejora en la precisión en las tareas de interferencia en el grupo de alta intensidad. Al igual que en el anterior, los niveles de BDNF en plasma permanecieron estables sin cambios significativos.

3.3 Evaluación de la calidad metodológica

Para evaluar el riesgo de sesgo y la robustez de los estudios incluidos, se utilizó la escala PEDro. Esta herramienta consta de 11 ítems que evalúan los siguientes aspectos:

1. Criterios de elección especificados (no cuenta para la puntuación)
2. Asignación aleatoria
3. Asignación oculta
4. Grupos similares al inicio
5. Cegamiento de los sujetos
6. Cegamiento de los terapeutas
7. Cegamiento de los evaluadores
8. Medidas obtenidas en >85% de los sujetos
9. Análisis por intención de tratar
10. Comparaciones estadísticas entre grupos
11. Medidas de variabilidad reportadas

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total
"Effect of football activity and physical fitness on information processing, inhibitory control and working memory in adolescents" (Williams et al., 2020).	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	5
"Effects of 9 Weeks of High- or Moderate- Intensity Training on Cardiorespiratory Fitness, Inhibitory Control, and Plasma Brain- Derived Neurotrophic Factor in Danish Adolescents"—A Randomized Controlled Trial (Gejl et al., 2024)	SI	SI	NO	SI	NO	NO	SI	SI	NO	SI	SI	6

Fuente: Elaboración propia

Los estudios seleccionados indican una calidad metodológica moderada.

3.4 Historia del problema y síntesis de resultados

La integración de estos estudios revela que existe una cierta complejidad en la relación ejercicio-cognición-BDNF en adolescentes.

Empezando por los efectos cognitivos, la evidencia sugiere que el ejercicio físico no es una solución universal inmediata, ya que sus beneficios parecen ser específicos (memoria de trabajo vs control inhibitorio) y están condicionados por la intensidad y la condición física basal del adolescente.

En cuanto al papel del BDNF, a pesar de la teoría que sitúa al BDNF como el motor de la plasticidad cerebral, los datos periféricos en sangre de estos estudios contradicen dicha hipótesis en adolescentes. Esto sugiere que o bien el BDNF no refleja lo que está ocurriendo en

el cerebro o bien existen otros mecanismos que expliquen las mejoras observadas como la angiogénesis o el flujo sanguíneo.

Y finalmente en cuanto al fitness, el hallazgo más potente es que los adolescentes con una buena condición física previa procesan la información más rápido y son los únicos que parecen aprovecharse metabólicamente de una sesión aguda para mejorar su memoria.

4. DISCUSIÓN

4.1 Síntesis e interpretación de los hallazgos

El objetivo central de esta revisión fue analizar el impacto del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo o académico en adolescentes y el papel mediador del BDNF. Tras el análisis de los estudios incluidos, se observa que el ejercicio físico tiene un efecto positivo sobre la cognición, aunque este no es generalizado, sino que se manifiesta de forma selectiva y dependiente de la condición física previa del individuo, mientras que en una intervención de 9 semanas, el grupo que intervino haciendo ejercicio de alta intensidad no obtuvo mejoras estadísticamente significativas en el control inhibitorio, pero sí se observó una tendencia de mejora en la precisión en las tareas de interferencia.

4.2 El papel del fitness como moderador de la respuesta

Un hallazgo crítico es que la condición física basal actúa como una llave que permite al cerebro beneficiarse del ejercicio. Los resultados de Williams et al. (2020) muestran que los adolescentes con mayor fitness tienen tiempos de respuesta más rápidos de forma basal y son los únicos que mejoran tras un estímulo agudo. Este fenómeno se alinea con la “Hipótesis de la capacidad de adaptación”, la cual postula que los individuos con mejor forma física gestionan el estrés fisiológico del ejercicio de manera más eficiente, haciendo que los recursos metabólicos se destinen a funciones ejecutivas superiores en lugar de a la recuperación homeostática del propio cuerpo. Por el contrario, en sujetos con baja condición física, la alta demanda de una sesión de ejercicio podría ser demasiado estresante, anulando cualquier beneficio cognitivo inmediato.

4.3 El enigma del BDNF en adolescentes

A pesar de la sólida base teórica que sitúa al BDNF como mediador de la plasticidad sináptica, esta revisión arroja resultados contradictorios. Ni el ejercicio agudo ni el crónico lograron modificar las concentraciones de BDNF en suero o plasma. Esto sugiere varias interpretaciones:

- Inconsistencia metodológica: Los niveles medidos en sangre periférica podrían no reflejar la actividad neurotrófica en el sistema nervioso central.
- Umbral de intensidad y volumen: Es posible que para observar cambios estables en el BDNF basal en adolescentes se requieran volúmenes o intensidades mayores a los aplicados.
- Mecanismos alternativos: Las mejoras cognitivas observadas en ausencia de cambios en el BDNF puede indicar que haya otros factores que están mediando esta relación, como por ejemplo, el flujo sanguíneo cerebral o la liberación de otras exerquinas.

4.4 Especificidad de la tarea

La naturaleza del ejercicio también podría influir. El estudio de Williams et al. (2020) mostró beneficios en la memoria de trabajo, posiblemente debido también a que el fútbol al ser un deporte de equipo implica una alta carga cognitiva en cuanto a la toma de decisiones y estrategia, a diferencia del ciclismo o carrera continua que son ejercicios puramente aeróbicos donde Gejl et al. (2024), no hallaron mejoras significativas en el control inhibitorio, lo que

sugiere que también prestemos atención a la combinación de esfuerzo físico y demanda cognitiva para potenciar las funciones cognitivas en edad escolar.

4.5 Limitaciones y prospectiva

Esta revisión presenta limitaciones notables, principalmente en el reducido número de estudios que cumplen con los criterios de inclusión y exclusión así como en su calidad metodológica que es moderada. Además, la heterogeneidad en los protocolos de medición del BDNF dificulta la comparación directa.

En conclusión, el ejercicio físico es una herramienta prometedora para el desarrollo cognitivo en el adolescente, pero su éxito podría depender más de mejorar primero la condición física general del estudiante. Futuras investigaciones deberían emplear biomarcadores más sensibles y periodos de intervención más prolongados para clarificar el papel definitivo del BDNF en esta población.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Los hallazgos de la presente revisión permiten extraer varias consecuencias de interés práctico y científica aunque bastante limitadas. En primer lugar, el ejercicio físico se perfila como una herramienta prometedora para favorecer determinados aspectos del rendimiento cognitivo y académico en adolescentes, aunque sus efectos no parecen ser homogéneos ni generalizables a toda la población escolar. En concreto, la evidencia revisada sugiere que los beneficios cognitivos se manifiestan de forma más clara en aquellos adolescentes con una mejor condición física basal, lo que pone de manifiesto la importancia de considerar el nivel inicial de aptitud física antes de plantear una intervención.

En segundo lugar, la revisión muestra que el BDNF periférico no presenta cambios consistentes tras la práctica de ejercicio físico agudo o crónico, por lo que su papel como mediador directo de la relación entre ejercicio y cognición en adolescentes sigue siendo incierto. Esta ausencia de resultados concluyentes obliga a interpretar con cautela el uso de este biomarcador como indicador único de adaptación cerebral y sugiere que podrían intervenir otros mecanismos fisiológicos, como la mejora del flujo sanguíneo cerebral, la angiogénesis o la liberación de ciertas exequinas.

En tercer lugar, los resultados obtenidos apoyan la necesidad de diseñar programas de intervención dentro del contexto de la Educación Física con el objetivo principal no solo de analizar el impacto de un programa de ejercicio físico estructurado sobre el rendimiento académico y cognitivo y ver los niveles de BDNF en adolescentes, sino también de ahondar en un tema donde la evidencia científica es bastante limitada en cuanto a adolescentes en edad escolar se refiere.

La intervención consistiría en un programa de 10-12 semanas de duración, con una frecuencia de 2 sesiones semanales integradas en las clases de Educación Física y se desarrollarían a una intensidad moderada-alta con el fin de generar adaptaciones tanto fisiológicas como cognitivas.

La evaluación de la intervención podría llevarse a cabo mediante un diseño pretest-posttest, analizando variables de rendimiento cognitivo, académico y biológico. Para ello, podrían emplearse pruebas neurocognitivas, registro de calificaciones académicas y medición de los niveles de BDNF antes y después del programa.

Esta propuesta pretende ofrecer una aplicación práctica de los limitados hallazgos de la revisión en el contexto escolar, aportando una intervención viable y ampliando de esta manera la evidencia científica arrojando luz a un contexto hasta ahora un poco limitado.

Por último, debido a la limitada evidencia científica encontrada en esta rama específica, acordé con mi tutor Diego Pastor Campos, realizar una nueva búsqueda sobre las

bases biológicas moleculares que podrían afectar al proceso de aprendizaje, pero esta búsqueda se basaría en buscadores de inteligencia artificial y no en buscadores tradicionales, para de esta manera, ampliar la información y el conocimiento de manera general sobre este campo.

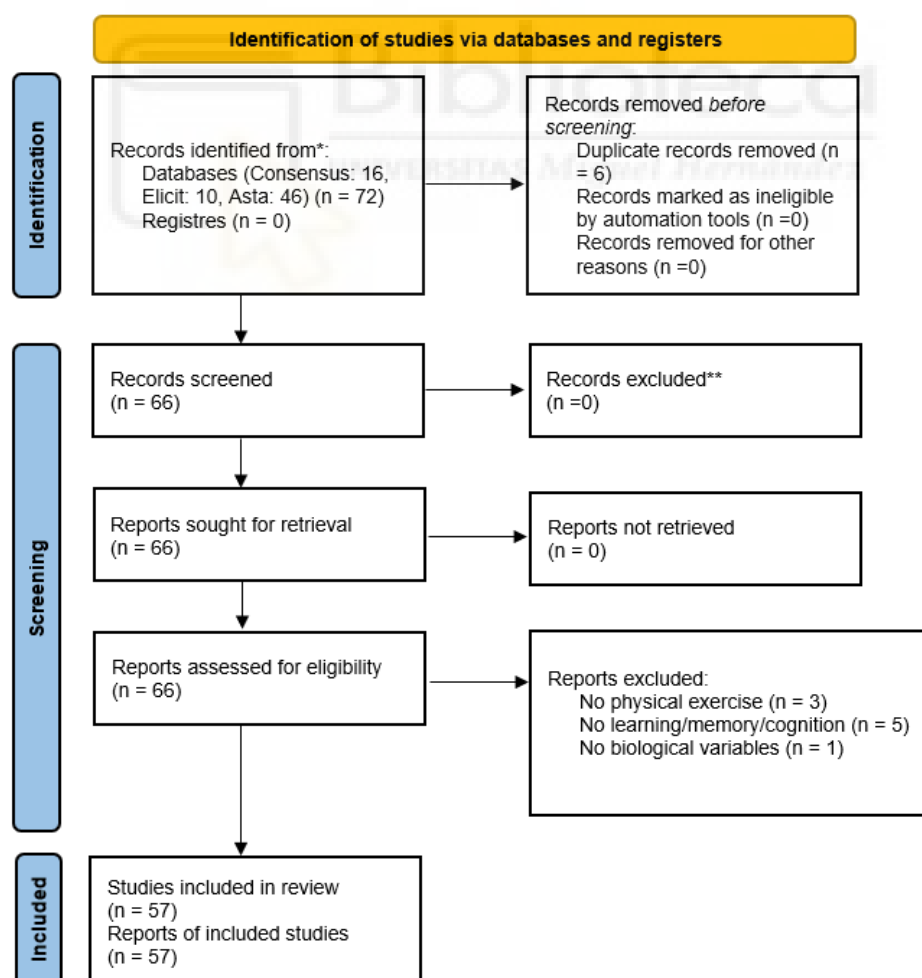
6. BÚSQUEDA IA DE LAS BASES DEL CONOCIMIENTO

Dada la limitada disponibilidad de evidencia específica en adolescentes en edad escolar que analice simultáneamente ejercicio físico, rendimiento cognitivo o académico y BDNF, se incorpora una síntesis complementaria de evidencia científica procedente de revisiones sistemáticas en otras poblaciones sin límite de edad, estudios experimentales y revisiones en grupos animales.

El objetivo de este anexo es ampliar el marco teórico de la presente revisión, mostrando los principales mecanismos biológicos y moleculares implicados en la relación entre ejercicio físico, sistema nervioso y aprendizaje.

Para la búsqueda de la evidencia científica complementaria, se hizo uso de diferentes bases de datos de inteligencia artificial como son Consensus, Asta y Elicit bajo el prompt de, “Cómo impacta el ejercicio físico en el sistema nervioso promoviendo el aprendizaje, y qué variables biológicas moleculares están implicadas”.

6.1 Diagrama de flujos PRISMA del proceso de búsqueda y selección de la evidencia científica complementaria



Fuente: Elaboración propia

6.2 Tabla de datos de la evidencia científica complementaria recopilada en las diferentes bases de datos de inteligencia artificial

CONSENSUS:

Estudio (año)	Tipo	Población	Ejercicio	Variables moleculares	Medición moléculas	Aprendizaje ¿QUE?	Medición aprendizaje ¿CÓMO?	Resultados	Conclusión
Vints et al. (2022)	Revisión	Humanos + animales (ratones)	Aeróbico Fuerza	BDNF, IGF-1, Irisin, Lactato	ELISA (sangre/cerebro) Electrofisiología (LTP)	LTP (plasticidad) Memoria espacial	Patch-clamp in vitro Morris Water Maze	Aeróbico → Irisin/Lactato → BDNF Fuerza → BDNF directo ↑bdnf, igf1, irisina, lactato	Exerkines del ejercicio facilitan LTP → mejor aprendizaje vía neuroplasticidad
Chen et al. (2023)	Visión general	Humanos + animales (ratones)	Aeróbico alta intensidad	BDNF, IGF-1, Lactato (LTP), IL-6	ELISA/suero	Neurogénesis Memoria ejecutiva	Volumen hipocampo (MRI) Test memoria espacial Flanker Task	Alta intensidad = máximo BDNF ↑bdnf, igf1, lactato IL-6 ↓ Lactato = energía cerebral	Adaptaciones fisiológicas, ejercicio reduce inflamación y potencia BDNF/neurogénesis
Hayek et al. (2019)	Experimental (ratones)	Ratones machos C57BL/6	Rueda voluntaria + inyección lactato	Lactato hipocampal, BDNF, TRKB	Ensayo L-lactato (hipocampo) RT-PCR/Western blot	Memoria espacial	Morris Water Maze (MWM)	Rueda = +36% lactato (p=0.04) Lactato IP = -50% tiempo (p<0.05) +2x tiempo zona correcta	"Lactato ejercicio cruza BBB → SIRT1 → BDNF → ↑LTP/memoria. Componente 'exercise pill' BDNF"

Dolega et al. (2024)	Revisión narrativa	Humanos (niños/adultos/mayores)	Aeróbico (correr/nadar) + Fuerza	BDNF, IGF-1, VEGF, Óxido nítrico	Sangre + Cerebro (MRI)	Memoria espacial + Funciones ejecutivas	MRI volumen + Tests cognitivos	↑ BDNF/VEGF hipocampo (aeróbico). ↑ Volumen gris prefrontal/hipocampo. ↑ Memoria niños/adultos	Ejercicio regular (3x/semana, 70-80% HRmax) maximiza neuroplasticidad. Aeróbico > fuerza para BDNF
Fabian et al. (2025)	Revisión	Humanos + Animales (ratones)	Aeróbico intenso + NEAT	BDNF, VEGF, Lactato	Sangre + Cerebro (PET)	Memoria + Cognición	PET + MRI	↑ BDNF (agudo >30min). Lactato ↑ VEGF angiogenesis hipocampo	Ejercicio esencial neuroplasticidad/LTP
Cooper et al. (2018)	Revisión narrativa	Ratones adultos + Humanos ancianos	Rueda voluntaria y running	BDNF, VEGF, Catepsina B	qPCR/IHC hipocampo DG; ELISA plasma	Memoria espacial + Separación patrones (DG)	Morris Water Maze LTP in vivo DG	↑ Neuronas nuevas DG 2-3x; ↑ dendritas/spines nuevas; ↑ volumen hipocampal humanos	Running mejora cognición vía neurogénesis/LTP
Zhu et al. (2025)	Mini-revisión	Ratones + Humanos	Ejercicio intenso	Lactato, BDNF, SIRT1-PGC1α-FNDC5, HIF-1	ELISA plasma/LCR; qPCR/IHC hipocampo/corteza	Memoria larga + Plasticidad sináptica	MWM contextual; LTP hipocampo	Lactato cruza BBB (MCT1/2); ↑ BDNF neurogénesis; Mejora memoria AD/PD	Lactato exerkina: salud cerebral/neuroprotección/neurogénesis
Romero Garavito et al. (2025)	Revisión	Humanos/rodentes (AD/PD/MIS)	Aeróbico/HIIT/fuerza	BDNF, TrkB, Val66Met	ELISA suero/plasma; qPCR hipocampo	Memoria/cognición	LTP inferido; RBANS (PD)	↑ BDNF post-ejercicio; Neuroplasticidad ↑	Ejercicio ↑ BDNF → neuroprotección y mejor memoria

Ben Ezzdine et al. (2025)	Revisión	Adultos/ancianos	Aeróbico + fuerza	BDNF, IGF-1, Mioquinas, IL-6/TNF- α , SOD/glutathión	ELISA suero/plasma;	Ejecutiva/memoria/atención/procesado	Test ejecutivo, atención y memoria	$\uparrow$ Hipocampo 1-2%; $\uparrow$ sinapsis/neurogénesis $\uparrow$ atención, memoria y tareas ejecutivas	ejercicio $\uparrow$ hipocampo 1-2%; ejecutiva +5-10%; memoria +12-18%; +8-14% atención
Cefis et al. (2023)	Revisión	Animales (ratas, ratones) y humanos	Correr en rueda, cinta,	BDNF (principal), calcio, Óxido nítrico, CREB, irisin, β -HB	Análisis génico (mRNA), proteína (ELISA, Western) en cerebro, sangre, músculo	Memoria	MWM: Laberinto Morris	1) Actividad neuronal (calcio+glutamato), 2) Flujo sanguíneo cerebral, 3) Señales de músculo/hígado	Ejercicio sube BDNF cerebral para potenciar cerebro; cualquier intensidad
Kukla-Bartoszek et al. (2024)	Revisión	Ratones C57BL/6J y humanos	Correr rueda, hiit y fuerza	BDNF, irisina, lactato, mRNA	mRNA: qPCR/RT-PCR, ELISA/Western blot, colorímetros...	Memoria espacial/cognición	Laberinto Morris (animales); tests cognitivos (humanos: PD, AD)	BDNF $\uparrow$; humanos: ejercicio aeróbico/fuerza reduce declive cognitivo	Ejercicio reprograma epigenética para memoria/aprendizaje a largo plazo
Müller et al. (2020)	Revisión	Animales (roedores) y humanos adultos	aeróbica, hiit, fuerza	BDNF, lactato, MCT, HCAR1, SIRT1, PGC-1 α -FNDC5-BDNF, IGF-1, VEGF	BDNF en sangre, BDNF mRNA/proteína en cerebro (roedores); lactato sanguíneo; expresión MCT	memoria, funciones, ejecutivas	Tests neuropsicológicos y tareas de aprendizaje	El ejercicio (sobre todo de mayor intensidad) $\uparrow$ lactato en sangre, que cruza la BBB $\uparrow$ BDNF y neuroplasticidad; infusión lactato; $\uparrow$ BDNF en reposo	Lactato y BDNF mediadores clave de la neuroplasticidad más intensidad: más aprendizaje, protección demencia
Sousa Fernandes et al. (2020)	Revisión sistemática	Animales + humanos	Aeróbico + fuerza	BDNF, TRKB, CREB, IGF1, cAMP	Western blot/ELISA/RT-PCR/IHQ, MRI	memoria espacial/cognición	MWM, Hopkins Verbal Learning Test, Trail Making..	EF $\uparrow$ BDNF/TrkB/GDNF, neurogénesis/dendritas, $\uparrow$ hipocampo, menos tiempo en MWM	EF potencia neuroplasticidad y función cerebral

Mansoor et al. (2025)	Revisión	Animales Humanos	Aeróbico, fuerza, combinado	BDNF, IGF-1, VEGF, PGC-1 α , SIRT1, AMPK, irisina; TNF, il-6...	bdnf periférico, MRI volumen hipocampo, EEG (plasticidad)	funciones ejecutivas, memoria espacial/episódica	Test stroop, trail making, memoria (HVLT-R)	Ejercicio $\uparrow$ neurogénesis/sinapsis (hipocampo $\uparrow$), $\uparrow$ mitocondrias $\downarrow$ inflamación neural, $\uparrow$ memoria	Ejercicio previene neurodegeneración vía neuroplasticidad (BDNF/mitocondrias); aeróbico+fuerza ideal para reserva cognitiva
Liang et al. (2021)	Revisión narrativa	Ratones y humanos	Aeróbico	BDNF, TrkB, IGF-1, VEGF, NMDA	Western blot/RT-PCR/IHQ/ELISA (hipocampo);	memoria espacial/cognitiva	Water Maze tests en animales; cognitivos en humanos	Ejercicio $\uparrow$ BDNF/NGF/VEGF $\rightarrow$ $\uparrow$ neurogénesis, LTP, dendritogénesis, angiogénesis	Ejercicio remodela cerebro, vía plasticidad, neurotrofinas, mejor memoria espacial y episódica
Lu et al. (2023)	Revisión narrativa	Ratones y humanos	Aeróbico, fuerza, combinado	BDNF, TrkB, PGC-1 α , SIRT1, irisina, FNDC5	bdnf suero, MRI hipocampo	memoria espacial/episódica/ejecutiva	Morris Water Maze y HVLT/Stroop/Trail Making (humanos)	$\uparrow$ BDNF: $\uparrow$ volumen hipocampo/LTP/sinapsis; $\uparrow$ mitofagia/biogénesis, irisin $\uparrow$ bdnf	Ejercicio: mejora memoria, plasticidad, sinapsis, $\uparrow$ volumen hipocampal

ELICIT:

Estudio (año)	Tipo	Población	Ejercicio	Variables moleculares	Medición moléculas	Aprendizaje ¿QUE?	Medición aprendizaje ¿CÓMO?	Resultados	Conclusión
Hötting et al. (2013)	Revisión narrativa	Humanos y ratones	Aeróbico, fuerza y coordinación	BDNF, IGF-1	ELISA/sangre periférica; post-mortem (animales);	Memoria episódica/espacial; funciones ejecutivas, atención, control)	Tests: Stroop, flanker, recall palabras/listas caras; RMN	$\uparrow$ BDNF/IGF-1 con ejercicio: $\uparrow$ volumen hipocampo frontal, eficiencia neuronal: $\uparrow$ memoria/ejecutivas	Ejercicio activa neuroplasticidad previene declive cognitivo; con entrenamiento cognitivo, más efecto

Romero Ramos et al. (2021)	Revisión	Mayores >50-85 años	Aeróbico, fuerza, Tai Chi, multimodal	BDNF, IGF-1, VEGF, dopamina, péptido β -amiloide, gamma gap	ELISA/sangre; RMN, EEG	Memoria, atención, funciones ejecutivas	Tests: MoCA, MMSE, Stroop, recall palabras; EEG/RMN pre/post	AF mejora cognición (memoria/atención $\uparrow$); $\uparrow$ bdnf	AF atenúa declive cognitivo vía cambios cerebrales (BDNF, RMN)
Furtado et al. (2025)	Revisión integrativa	Animales (ratones/ratas); humanos	Aeróbico voluntario	BDNF, IGF-1, VEGF, DNA, h3-h4, TET3/FTO/miRNAs, DNMTs/HDACs	RNA-seq, ChIP;; Western blot, RMN/EEG	Plasticidad sináptica, memoria (LTP/memoria espacial, neurogénesis, cognición	Tests comportamiento (ansiedad/memoria miedo); electrofisiología (LTP hipocampo)	$\uparrow$ BDNF vía desmetilación/acetilación; $\uparrow$ neurogénesis hipocampo	Ejercicio modula epigenética SNC, mejora cognición/plasticidad
Revelo Herrera et al. (2024)	Revisión sistemática	Humanos	Aeróbico, hiit y fuerza	BDNF, TMS, PET, RMN	ELISA/saliva/plasma BDNF;	Cognición, memoria ejecutiva/fatiga mental, plasticidad (hipocampo)	Stroop; multitarea neurocognitiva; tests memoria/ejecutiva.	$\uparrow$ BDNF (ej. ciclismo intenso: $\uparrow$ excitabilidad cortical con HIIT, $\uparrow$ grosor cortical/ $\uparrow$ metabolismo; $\uparrow$ cognición memoria con fuerza	Aeróbico (alta intensidad óptima) induce neuroplasticidad (BDNF/excitabilidad/estructural);
Bustos Barahona et al. (2025)	Revisión sistemática	Adultos >50 años	Aeróbico, fuerza, combinado y taichi	BDNF	BDNF suero	Memoria/atención /ejecutivas/procesamiento	MoCA/MMSE/TMT-A/B; fMRI activación frontal	$\uparrow$ Cognición, $\uparrow$ BDNF/vol GM/perfusión; combinado/moderado-alto mejor	Ejercicio (aeróbico/fuerza/taichi) promueve neuroplasticidad/cognición
Riquelme Uribe et al. (2012)	Revisión narrativa	Humanos y ratones	Aeróbico moderado y fuerza	BDNF, IGF-1, VEGF, catecolaminas /noradrenalina /endorfina/do	EEG/ERM/sangre (hormonas); neuroimagen	Cognitivas (velocidad/atención/memoria, ejecutivas)	Tareas: Stroop/elección reacción; LTP/memoria espacial	Agudo: $\uparrow$ flujo cerebral/neurotransmisores $\rightarrow$ $\uparrow$ rendimiento; crónico: $\uparrow$ vascularización/neuro	AF aguda/crónica potencia cognición vía metabólica/hormonal/plasticidad; más

				pamina,cortisol				génesis/plasticidad → ↑ conectividad frontal/parietal	aptitud → más activación prefrontal
Ramos & Galdeano (2019)	Revisión sistemática	Humanos	Aeróbico moderado-vigoroso	BDNF	BDNF en sangre	Memoria/atención /ejecutivas/matemáticas/ciencias	Tests: MoCA/MMSE/TMT/ Stroop; rendimiento académico	Ejercicio↑BDNF→↑ memoria/atención/rendimiento académico+20%aprendizaje vocabulario	Aeróbico vigoroso ↑ BDNF → mejor notas/aprendizaje
Fernandes et al. (2017)	Revisión narrativa	Humanos/roedores	Aeróbico y fuerza	BDNF, HDAC, H3H4, DNMT/TET, SIRT1	ChIP, qPCR, IHC(bdnf)	Memoria espacial/LTP/consolidación	CFM/Morris water maze/LTP hipocampo	Ejercicio↓DNMT/HDAC2 → ↑ BDNF → ↑ LTP/memoria	Ejercicio;reprograma epigenoma:expresa BDNF→↑ memoria
Medina Cascales et al. (2019)	Revisión sistemática	Humanos	Aeróbico y multicomponente	Se nombra BDNF, lactato, cortisol, catecolaminas	Mediciones en sangre y saliva	Funciones ejecutivas:inhibición,memoria,flexibilidad cognitiva	Test neuropsicológicos: stroop,flancos,wiscot sin	El ejercicio agudo ↑atención inmediata. El ejercicio crónico ↑ memoria y capacidad de planificación	Relación positiva entre la actividad física y la mejora de funciones ejecutivas

ASTA:

Estudio (año)	Tipo	Población	Ejercicio	Variables moleculares	Medición moléculas	Aprendizaje ¿QUE?	Medición aprendizaje ¿CÓMO?	Resultados	Conclusión
Kondo et al. (2015)	Revisión	Animales y humanos	Ejercicio físico en general	Serotonina y receptores, nombra;BDNF,IGF-1,VEGF	Niveles de 5-HT en hipocampo	Memoria y cognición	Pruebas de aprendizaje espacial (radial arm maze)	El ejercicio ↑ 5-HT en cerebro,promoviendo neurogénesis hipocampal	La serotonina media la plasticidad cerebral por ejercicio (neurogénesis)

van Praag et al. (2005)	Estudio experimental	Ratones	Running wheel voluntario	BrdU/NeuN	Conteo (neuronas, dendritas) morfología +	Aprendizaje espacial	Morris water maze	↑Aprendizaje/retención ↓latencia MWM + ↑neuronas (25→50%)	Ejercicio revierte déficits envejecimiento en aprendizaje, ↑memoria, ↑neuronas, angiogénesis
Ghanbarzadeh et al. (2016)	Revisión	Animales y humanos	Ejercicio aeróbico	BDNF, TrkB, p75NTR	Muestras sangre, análisis cerebral RT-PCR, niveles receptores	Memoria funciones ejecutivas plasticidad sináptica y	MWM ratones y pruebas neuropsicológicas en humanos	El ejercicio aumenta la expresión del gen BDNF y la señalización a través del receptor TrkB en el hipocampo.	El ejercicio promueve; supervivencia neuronal, neurogénesis, ↓deterioro cognitivo ↑aprendizaje
Festa et al. (2023).	Revisión narrativa y sistemática	Humanos	Aeróbico, fuerza, deportes equipo y coordinación	BDNF, IGF-1, VEGF, dopamina, serotonina, acetilcolina y citoquinas	Suero y plasma, NIRS y neuroimagen fMRI y PET	Funciones ejecutivas atención, memoria	Test de Stroop, Trail Making Test, N-back	El ejercicio ↑conectividad funcional, ↑volumen hipocampo ↑dopamina y BDNF, ↓declive cognitivo ↑rendimiento académico y laboral.	La actividad física ↑plasticidad cerebral aeróbico moderado el más respaldado mejora cognitiva.
Rahmi et al. (2024)	Revisión narrativa	Animales roedores	Aeróbico	EGR1, BDNF, SINAPSINA 1	RT-qPCR, western blot, inmunohistoquímica	Memoria	MWM, Object Recognition Test, Fear Conditioning..	El ejercicio ↑Egr1 en el hipocampo activa otros genes de plasticidad sináptica. Su deficiencia: incapacidad consolidar recuerdos	El ejercicio ↑Egr1 en el hipocampo ↑cambios estructurales en el cerebro y ↑memoria y plasticidad

Basso et al. (2017)	Revisión sistemática	Humanos y ratones	Ejercicio aeróbico	Dopamina, serotonina, noradrenalina, GABA, glutamato, BDNF, IGF-1 lactato, cortisol	Microdiálisis in vivo ratones, MRS, ELISA, EEG	atención selectiva, memoria de trabajo y funciones ejecutivas	Test de Stroop, California Verbal Learning Test, tareas de reconocimiento visual y tests de memoria	Una sesión de ejercicio ↑ catecolaminas ↑ atención, estado de ánimo y mejora fase adquisición aprendizaje	El ejercicio agudo produce cambios neuroquímicos y neurofisiológicos ↑ rendimiento cognitivo creando un entorno cerebral fértil para el aprendizaje
Swain et al. (2012)	Revisión	Roedores	Running en rueda	VEGF, BDNF IGF-1. Sinapsina I, PSD-95	Estereología y Microscopía, Hibridación in situ, Inmunocitoquímica	Aprendizaje espacial, memoria, habilidades motoras	MWM y tareas de evitación inhibitoria	El ejercicio ↑ densidad capilares en la corteza motora y el hipocampo, ↑ glucosa y oxígeno, facilitando plasticidad neural	La plasticidad neural es dependiente del soporte vascular; el ejercicio permite al cerebro aprender y protegerse contra el envejecimiento.
Maugeri et al. (2021)	Revisión narrativa	Humanos y ratones	Wheel running (ratones), aeróbico humanos	GFAP, BDNF, IGF-1, NGF, glutamato, glutación, AQP4, catecolaminas, gliotransmisores.	Western blot, inmunohistoquímica, ELISA, morfología astrocitaria	Memoria (espacial/episódica), funciones ejecutivas, LTP, neurogénesis hipocampal	MWM, LTP, MRI, rendimiento cognitivo	Ejercicio ↑ astrogénesis, ↑ glutamato, factores tróficos; ↓ inflamación/ ↑ plasticidad y cognición en regiones como hipocampo y corteza prefrontal	El ejercicio modula funciones astrocitarias para neuroprotección y mejora cognitiva
Thomas et al. (2012).	Revisión	Humanos y roedores	Aeróbico	BDNF, IGF1, VEGF	En sangre, estudios histológicos/químicos, tejido cerebral (en animales)	Aprendizaje motor y memoria espacial	MWM ratones y pruebas memoria y aprendizaje motor en humanos	Ejercicio; induce neurogénesis, angiogénesis y ↑ materia blanca y gris	Ejercicio cambia la estructura del cerebro, aumentando la plasticidad para el aprendizaje y memoria

Amico et al. (2020)	Experimental	Humanos	Ejercicio agudo durante codificación	Menciona BDNF, dopamina, epinefrina, norepinefrina	No se nombra su forma de medición	Memoria (aprendizaje de vocabulario 20 palabras durante ejercicio)	prueba de memoria (recuerdo asistido) post ejercicio	Niños recordaron más palabras corriendo que sentados	Ejercicio agudo durante el aprendizaje facilita memoria episódica
Liu et al. (2025)	Revisión sistemática	Humanos (adolescentes)	Aeróbico, HIIT, fuerza, juegos	Menciona BDNF, catecolaminas, dopamina	No nombra mediciones	Funciones ejecutivas, atención, memoria, inhibición	Test neuropsicológicos	Ejercicio; mejoró inhibición, atención, memoria, funciones ejecutivas y flexibilidad cognitiva	Ejercicio aeróbico regular estrategia para mejorar rendimiento académico, desarrollo cognitivo
Brown et al. (2024)	Diseño experimental	Humanos: estudiantes universitarios	Aeróbico y fuerza	BDNF, IGF-1	No se midieron directamente pero se comentan	Memoria y concentración entre otras áreas	Escalas analógicas visuales (VAS)	Mejora significativa en concentración, memoria y productividad entre otras áreas	El ejercicio ↑ motivación académica y mejora la salud cerebral, cognitiva y mental
Gong Cheng et al. (2025)	Revisión sistemática	Niños y adolescentes con TDAH	Aeróbico, fuerza, baloncesto, judo y yoga	BDNF, dopamina, norepinefrina, cortisol	No se miden pero se comenta	Memoria trabajo y funciones ejecutivas	N-Back, escala memoria Wechsler, test flanker, stroop y WCST	Mejora significativa memoria trabajo, deportes con alta demanda cognitiva más efectivos	Ejercicio optimiza flujo sanguíneo a la corteza prefrontal, dosis moderada para plasticidad
Ma et al. (2025)	Revisión	Humanos	Ejercicio a largo plazo (aeróbico, fuerza y yoga)	BDNF, serotonina, dopamina, endorfinas, cortisol	En sangre y saliva ELISA, análisis metabolitos en plasma, PET	Memoria, resiliencia cognitiva y LTP	Electrofisiología, pruebas memoria trabajo, velocidad procesamiento	El ejercicio crónico ↑ BDNF, facilitando la LTP → mecanismo molecular básico del aprendizaje	El ejercicio → modulador biológico que optimiza el entorno químico del cerebro para el aprendizaje

Zhang et al. (2025).	Revisión bibliométrica	Global: humanos y roedores	Aeróbico, fuerza, ejercicio agudo	BDNF, VEGF, IGF1	En sangre	Función cognitiva y plasticidad sináptica	Pruebas funciones ejecutivas, fMRI...	BDNF:variable más importante→explica cómo el ejercicio transforma el cerebro	Ejercicio/BDNF→desarrollo, aprendizaje, plasticidad cerebral
Illesca-Matus et al. (2023)	Revisión	Humanos y roedores	Aeróbico, fuerza, combinado y voluntario	Serotonina, BDNF, CREB, IGF-1, TRKB, PGC1a, b-catenina	qPCR, IHC, western blot, ELISA	Memoria episódica, recall palabras, reconocimiento objetos, memoria prospectiva	Tests RAVLT, THT, discriminación, fMRI, MWM en ratones	El ejercicio aeróbico moderado ↑ memoria episódica, ↑serotonina, ↑BDNF, ↑CREB, ↑TRKB, ↑PGC1A	El ejercicio, especialmente aeróbico moderado, beneficia memoria episódica vía sistema serotoninérgico y BDNF entre otros
Giandomenico et al. (2021)	Revisión narrativa	Humanos	Aeróbico y fuerza	BDNF dopamina/serotonina/norepinefrina, endocannabinoides, cortisol, IL-6	Plasma/suero/ELISA	Cognición ejecutiva prefrontal (atención, memoria relacional, flexibilidad, inhibición)	Tests: PHQ-9/MADRS, IPAQ, acelerómetros	Ejercicio ↑BDNF, VEGF, neurotransmisores ↓cortisol e inflamación	Ejercicio potente para la salud mental ↑cognición ejecutiva (aprendizaje y prefrontal)
Dwojaczny et al. (2023)	Revisión	Humanos y ratones	Aeróbico y fuerza	BDNF/IGF-1 VEGF glutamato GABA	Genes hipocampo (qPCR), plasma/suero (ELISA)	Memoria espacial/consolidación/atención/reacción/ejecutivo, LTP	MWM ratones y test función ejecutiva y velocidad psicomotora	Ejercicio ↑BDNF, VEGF, IGF1, glutamato y ↓gaba	Ejercicio ↑memoria espacial, aprendizaje, atención, plasticidad, sinapsis, neurogénesis ↓declive cognitivo
Frith et al. (2018)	Ensayo controlado	Humanos	Aeróbico moderado y alta intensidad	Catecolaminas y BDNF	No se miden, se citan	Capacidad de atenuar interferencia proactiva	Test de RAVLT	El ejercicio antes de la codificación de la memoria ↑mayor número de palabras recordadas	Ejercicio de alta intensidad ↓efectos negativos de la interferencia

									proactiva en la memoria verbal
Autio et al. (2020)	Revisión narrativa	Humanos y roedores	Aeróbico, fuerza	IGF-1, ghrelina, NPY, galanina, VIP, CGRP	plasma o suero en animales: niveles cerebrales, mRNA y expresión tisular	Memoria, función ejecutiva, atención, velocidad de procesamiento, aprendizaje espacial	Tests neuropsicológicos (Trail B, memoria episódica, memoria espacial, tareas de función ejecutiva), MWM	La actividad física ↑memoria, aprendizaje, atención, función ejecutiva, procesamiento. IGF-1 muestra la evidencia más consistente	Es probable que IGF-1 medie parte de los efectos beneficiosos del ejercicio sobre la cognición
Crawford et al. (2020)	Revisión narrativa	Humanos y ratones	Aeróbico	BDNF, VEGF, IGF1, I-BAR	Niveles en sangre, MRI, análisis ARNm en ratones	Memoria episódica y de separación patrones	RAVLT, NOR(reconocimiento patrones en ratones)	El ejercicio agudo antes del aprendizaje mejora el rendimiento ↓interferencia. Ejercicio crónico ↑ volumen del hipocampo y neurogénesis	Ejercicio ↑memoria episódica al reducir olvido por interferencia y ↑la plasticidad neural y la actividad neural
Latinoe et al. (2024)	Revisión	Humanos	Actividad física estructurada, deportes y juegos motores	BDNF, catecolaminas y endorfinas	Medición en sangre, saliva y fMRI	Funciones ejecutivas y rendimiento académico	Test psicométricos (Stroop, Trail Making Test) y calificaciones escolares	Ejercicio ↑vascularización cerebral, niveles de BDNF, catecolaminas, endorfinas; mejora la atención, la velocidad de procesamiento y la autorregulación.	Movimiento: indispensable desarrollo cognitivo; correlación positiva directa entre la condición física y el éxito en el aprendizaje
Plunzevic et al. (2012)	Revisión	Humanos y roedores	Aeróbico y carrera en rueda	BDNF, IGF1, VEGF, estrógenos, corticosteroides	Niveles en suero/plasma, MRI, niveles mRNA en roedores	Memoria espacial, capacidad de aprendizaje, funciones	Laberinto(roedores) y test memoria espacial, tests neuropsicológicos, MRI, EEG	Ejercicio ↑angiogénesis, sinaptogénesis, neurogénesis, IGF1, VEGF y niveles de BDNF (facilita plasticidad y	Ejercicio previene declive cognitivo y mejora la capacidad de aprendizaje

						ejecutivas, atención, velocidad cognitiva		reduce declive cognitivo)	
Gomez et al. (2013)	Revisión	Humanos y roedores	Aeróbico y carrera en rueda	BDNF, IGF-1, VEGF, CREB, NMDA Sinapsina I, Sinaptofisin, Syntaxina-3	Neuroimagen, niveles de proteínas en suero/plasma, western blot	Memoria espacial, control cognitivo, atención, velocidad procesamiento, rendimiento académico	MRI (volumen hipocampo), test flanker, test stroop, MWM (roedores)	Ejercicio ↑ hipocampo neurogénesis, angiogénesis, plasticidad sináptica mediante regulación BDNF-IGF1	Ejercicio mantiene equilibrio cerebral y previene declive cognitivo
Erickson et al. (2019)	Revisión	Humanos	Actividad física moderada a vigorosa	BDNF	Niveles bdnf suero y MRI, fMRI para volumen hipocampal	Logro académico, funciones ejecutivas, memoria, procesamiento, atención	Baterías neuropsicológicas, pruebas rendimiento académico, MRI para hipocampo	Ejercicio ↑ BDNF, memoria función ejecutiva y además sesiones agudas mejoran cognición post recuperación	Asociación consistente entre la actividad física crónica y la mejora del rendimiento académico
Petersen et al. (2012)	Revisión	Humanos y ratones	Actividad física regular como caminata	BDNF, cortisol, dopamina, PCR, IL-6	BDNF en suero, cortisol en saliva, marcadores inflamatorios en sangre	Memoria espacial, funciones ejecutivas, atención, mantenimiento conductual	MRI para volumen hipocampal, potenciales evocados	Ejercicio ↑ volumen hipocampal en un 2%, ↓ marcadores inflamatorios, ↑ función cognitiva, atención, velocidad cognitiva	Ejercicio ↑ neuroplasticidad y conexiones neurales facilitando el aprendizaje
Mauger et al. (2023)	Perspectiva/revisión	Humanos y roedores	Aeróbico y rueda de correr	BDNF, IGF1, VEGF, NGF, proteína básica de mielina	Niveles de mRNA, niveles factores crecimiento en plasma	Aprendizaje motor, atención, velocidad procesamiento, memoria, funciones ejecutivas	MWM, test memoria reconocimiento, test tiempo de reacción, test atención sostenida	Ejercicio ↑ oligodendrocitos ↑ MBP (proteína mielina), ↑ BDNF, VEGF, IGF1: mejora conexión neural y transmisión	Ejercicio promueve la producción mielina fortaleciendo la sustancia blanca: y

								información:más aprendizaje	mejor transmisión información
Tafari et al. (2024)	Revisión narrativa	Humanos (adolescentes)	Actividad física integrada en la rutina	BDNF (se cita de manera contextual)	No nombra su forma de medición	Funciones ejecutivas, atención, concentración, memoria, rendimiento académico	Pruebas estandarizadas, observación del tiempo en la tarea, éxito escolar percibido	Estudiantes en clases físicamente activas rinden en pruebas estandarizadas, movimiento en matemáticas↑tasa de éxito del 45%	Descansos activos y clases físicamente activas↑atención y concentración
Sun et al. (2018)	Revisión	Humanos y roedores	Ejercicio regular, agudo, alta intensidad	BDNF, IGF1, acetilcolina, dopamina, glucocorticoides	No se nombra directamente	Memoria, funciones ejecutivas, atención selectiva, razonamiento, rendimiento académico	Pruebas rendimiento escolar, tareas de memoria, MWM en roedores	Ejercicio regular mejora eficiencia cerebral y memoria. 30 min ejercicio↑atención y alta intensidad↑memoria corto plazo	Activador física desarrolla capacidades cognitivas a través ↑capacidad cerebral y velocidad flujo sanguíneo
Brockett et al. (2015)	Estudio experimental	Ratones	Carrera voluntaria en rueda	Proteínas: S100, Aquaporina-4, PSD-95, Synaptophysin...	Inmunomarcaje (IHC), microscopía confocal y análisis del área celular	Flexibilidad cognitiva y memoria de reconocimiento de objetos	Tareas de "object in place", "novel object preference" y cambio de set atencional	↑área de astrocitos y densidad de espinas dendríticas en hipocampo y corteza prefrontal	Ejercicio físico induce plasticidad tanto en neuronas como en astrocitos induciendo mejoras cognitivas
Martín et al. (2024)	Revisión narrativa	Humanos	Aeróbico, fuerza, yoga, artes marciales, deportes equipo	BDNF, endorfinas, lactato, mitocondrias, dopamina, norepinefrina	MRI, saliva, sangre...	Procesos de aprendizaje, memoria, funciones ejecutivas, rendimiento académico	Rendimiento escolar y baterías de pruebas de función cognitiva	Ejercicio: induce plasticidad, libera BDNF, mayor masa cortical↑materia blanca y	Ejercicio mejora cognición, neuroprotección y combate el declive cognitivo.

								gris, ↑ dopamina, serotonina y norepinefrina	
Perini et al. (2016)	Estudio experimental	Humanos	Sesión única de cicloergómetro 70% FCmax	BDNF	No se mide directamente pero se comenta	Aprendizaje visual y motor	Visual: Tarea discriminación orientación. Motor: Tarea abducción pulgar	El ejercicio facilitó significativamente el aprendizaje en ambos dominios comparado con el control	Sesión intensidad moderada potencia plasticidad y fortalece conectividad: facilitando el aprendizaje



6.3 Discusión

La presente revisión bibliográfica complementaria confirma de manera unánime que el ejercicio físico actúa como un potente modulador del sistema nervioso central promoviendo el aprendizaje y la memoria a través de una compleja red de mecanismos biológicos moleculares y adaptaciones estructurales. La evidencia analizada sugiere que estos beneficios no derivan de una única variable, sino de la interacción sinérgica entre factores neurotróficos, señales metabólicas periféricas, cambios epigenéticos y remodelación celular.

El ejercicio físico actúa como modulador clave del SNC, elevando consistentemente los niveles de factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) en regiones como el hipocampo, lo que facilita la potenciación a largo plazo (LTP) y la plasticidad sináptica, esencial para el aprendizaje. Factores como el IGF-1 y el VEGF complementan esta acción al promover neurogénesis y angiogénesis, optimizando el entorno neuronal para la consolidación de la memoria. Esta cascada sinérgica explica los beneficios cognitivos observados en modelos animales y humanos.

El lactato, liberado por el músculo esquelético durante el ejercicio intenso, actúa como exerquina crucial que cruza la barrera hematoencefálica y activa vías como SIRT1-PGC-1 α -FNDC5/Irisina, induciendo la expresión del BDNF y mejorando la transmisión glutamatérgica vía receptores NMDA. Otras mioquinas como irisina y catepsina B refuerzan esta comunicación interorgánica, vinculando el metabolismo periférico con la plasticidad central. Estos mecanismos subrayan cómo el ejercicio aeróbico de intensidad moderada-vigorosa genera señales metabólicas que potencian funciones ejecutivas y memoria de trabajo.

La actividad física induce cambios epigenéticos persistentes creando una "ventana de memoria molecular" que facilita la transcripción génica y la plasticidad a largo plazo. Estructuralmente, promueve neurogénesis en el giro dentado y una mayor densidad sináptica aumentando así el volumen hipocampal, y el rol protector de los astrocitos contra el estrés oxidativo. Además, optimiza la función mitocondrial vía AMPK/PGC-1 α y remielinización, mejorando la conectividad neural.

La intensidad moderada-alta (60-90% FC_{máx}), especialmente aeróbica o HIIT, genera respuestas más robustas en BDNF y lactato, superando al entrenamiento de fuerza en cuanto a volumen hipocampal, aunque este último eleva IGF-1 para funciones ejecutivas. Factores como el genotipo (BDNF Val66Met, APOE-4), edad y timing (pre-codificación) modulan efectos, con mayores beneficios en niños y ancianos. Intervenciones multimodales (ejercicio + cognición) potencian la neuroplasticidad dirigida.

Como conclusión, el ejercicio físico no es simplemente un estímulo motor, sino una intervención biológica multiobjetivo que remodela el sistema nervioso central a través de una cascada de eventos moleculares, metabólicos y epigenéticos, consolidando así las bases biológicas necesarias para un aprendizaje eficiente y una mayor resiliencia neuronal a lo largo de la vida.

6.4 Propuesta de intervención

En base a la evidencia complementaria, se propone una propuesta de intervención que tendría como objetivo realizar un programa estructurado de ejercicio físico de 2 sesiones semanales dentro de las clases de Educación Física durante 12 semanas, para potenciar el aprendizaje (memoria, control inhibitorio, flexibilidad cognitiva y rendimiento académico) en estudiantes de secundaria, midiendo biomarcadores neurotróficos como el BDNF, tests neuropsicológicos (N-back, Stroop y EMW) y notas académicas.

El diseño que podría llevarse a cabo sería un RCT aleatorizado, donde dentro de cada grupo hubiese un grupo control y un grupo experimental, dividiendo así, la clase en 2 grupos y manteniendo los mismos grupos durante las 12 semanas de intervención.

Las intervenciones como hemos comentado, serían en las clases de Educación Física, con una duración de 55 minutos y podrían estar enfocadas de manera diferente en cuanto a la parte principal, es decir, la primera sesión de la semana podría estar compuesta por un calentamiento, una parte principal con un circuito de fuerza-resistencia a alta intensidad y una parte final con tests neuropsicológicos, y la segunda sesión de la semana, podría estar compuesta también por un calentamiento y una parte final con tests neuropsicológicos pero con una parte principal diferente a la de la primera sesión donde se trabajase el HIIT de manera aeróbica a una intensidad moderada-alta.

En cuanto a la evaluación, tanto antes de las 12 semanas de intervención como después de las 12 semanas de intervención, se le realizaría a cada estudiante tanto del grupo experimental como del grupo control, una prueba de saliva para medir las concentraciones basales de BDNF y si es posible, en caso de haber consentimiento, debido a la fiabilidad que pueda presentar el test de saliva, se complementaría con una extracción de sangre para la medición de BDNF en suero. Además, aplicaríamos una batería de tests neuropsicológicos tanto antes como después de la intervención de 12 semanas, para poder establecer alguna relación entre ejercicio físico, BDNF y aprendizaje.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Amico, G., & Schaefer, S. (2020). Running during encoding improves word learning for children. *Frontiers in Psychology*, 11, Article 684. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00684>
- Autio, J., Stenbäck, V., Gagnon, D. D., Leppäluoto, J., & Herzig, K.-H. (2020). (Neuro) peptides, physical activity, and cognition. *Journal of Clinical Medicine*, 9(8), 2592. <https://doi.org/10.3390/jcm9082592>
- Basso, J. C., & Suzuki, W. A. (2017). The effects of acute exercise on mood, cognition, neurophysiology, and neurochemical pathways: A review. *Brain Plasticity*, 2(2), 127–152. <https://doi.org/10.3233/BPL-160040>
- Ben Ezzdine, L., Dhahbi, W., Dergaa, I., Ceylan, H. İ., Guelmami, N., Ben Saad, H., Chamari, K., Stefanica, V., & El Omri, A. (2025). Physical activity and neuroplasticity in neurodegenerative disorders: A comprehensive review of exercise interventions, cognitive training, and AI applications. *Frontiers in Neuroscience*, 19, 1502417. <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1502417>
- Benito-Barahona, R., Cruzat Bravo, E. J., Reyes Sánchez, Y. Y., & Tauda, M. E. (2025). Ejercicio físico como modulador de la neuroplasticidad y función cognitiva: Revisión sistemática. *Retos*, 69, 911–928. <https://doi.org/10.47197/retos.v69.111473>
- Brockett, A. T., LaMarca, E. A., & Gould, E. (2015). Physical exercise enhances cognitive flexibility as well as astrocytic and synaptic markers in the medial prefrontal cortex. *PLOS ONE*, 10(5), e0124859. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124859>
- Brown, C. E. B., Richardson, K., Halil-Pizzirani, B., Hughes, S., Atkins, L., Pitt, J., Yücel, M., & Segrave, R. A. (2024). PEAK mood, mind, and marks: A pilot study of an intervention to support university students' mental and cognitive health through physical exercise. *Frontiers in Psychiatry*, 15, Article 1379396. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1379396>
- Cheng, G., Song, C., & Hong, X. (2025). The impact of physical activity on working memory in children with ADHD: A meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 16, Article 1578614. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1578614>

- Cefis, M., Chaney, R., Wirtz, J., Méloux, A., Quirié, A., Leger, C., Prigent-Tessier, A., & Garnier, P. (2023). Molecular mechanisms underlying physical exercise-induced brain BDNF overproduction. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 16, 1275924. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2023.1275924>
- Chen, C., & Nakagawa, S. (2023). Physical activity for cognitive health promotion: An overview of the underlying neurobiological mechanisms. *Ageing Research Reviews*, 86, 101868. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2023.101868>
- Cooper, C., Moon, H. Y., & van Praag, H. (2018). On the run for hippocampal plasticity. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(5), a029736. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029736>
- Crawford, L. K., Li, H., Zou, L., Wei, G.-X., & Loprinzi, P. D. (2020). Hypothesized mechanisms through which exercise may attenuate memory interference. *Medicina*, 56(3), 129. <https://doi.org/10.3390/medicina56030129>
- De Alvarenga Furtado, L., Katayama Yamada, A., Bernardes Carvalho, L., Pertile Remor, A., Gomez Limia, C. E., Paiva, A. L., & da Silva, R. A. (2025). Exercício físico, epigenética e sistema nervoso central: Uma revisão integrativa. *Revista CPAQV Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida*, 17(3), 1–15.
- 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, 8856621. <https://doi.org/10.1155/2020/8856621>
- Dołęga, J., Papież, Ł. S., Mól, P., Maciejczyk, T., Sieńko, A., Łabuś, M., Zabawa, B., Hudzińska, P., Krzykowski, K., & Sadowski, J. (2024). Neuroplasticity: How regular physical activity influences the brain's structure and function. *Quality in Sport*, 34, 56026. <https://doi.org/10.12775/QS.2024.34.56026>
- Dwojaczny, B., & Bejtka, M. (2023). Influence of physical activity on cognitive functions – Potential mechanisms and benefits. *Journal of Education, Health and Sport*, 13(3), 181–185. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.13.03.026>
- El Hayek, L., Khalifeh, M., Zibara, V., Abi Assaad, R., Emmanuel, N., Karnib, N., El-Ghandour, R., Nasrallah, P., Bilen, M., Ibrahim, P., Younes, J., Abou Haidar, E., Barmo, N., Jabre, V., Stephan, J. S., & 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). *Journal of Neuroscience*, 39(13), 2369–2382. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1661-18.2019>
- Erickson, K. I., Hillman, C., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., & Powell, K. E. (2019). Physical activity, cognition, and brain outcomes: A review of the 2018 physical activity guidelines. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 51(6), 1242–1251. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001936>
- Fabian, D., Kufel, K. M., Teofilak, M., Smyl, N. M., Śpiołek, O., Siwiec, J., Słowikowska, A., Szatkowska, J., Szt Tyler-Krąkowska, M. P., Wąsowicz, A. A., & Kędziora, F. (2025). Effects of physical activity on brain function: Mechanisms, adaptations and clinical implications. *Quality in Sport*, 37, 57569. <https://doi.org/10.12775/QS.2025.37.57569>
- Festa, F., Medori, S., & Macrì, M. (2023). Move your body, boost your brain: The positive impact of physical activity on cognition across all age groups. *Biomedicines*, 11(6), 1765. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061765>

- Frith, E., Sng, E., & Loprinzi, P. D. (2018). Randomized controlled trial considering varied exercises for reducing proactive memory interference. *Journal of Clinical Medicine*, 7(6), 147. <https://doi.org/10.3390/jcm7060147>
- Gejl, K. D., Højberg, P. M., Andersen, M. N., Jørgensen, S. M., & Andersen, L. B. (2024). Effects of 9 weeks of high- or moderate-intensity training on cardiorespiratory fitness, inhibitory control, and plasma brain-derived neurotrophic factor in Danish adolescents—A randomized controlled trial. *Frontiers in Human Neuroscience*, 18, Article 1392831. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1392831>
- Giandonato, J. A., Tringali, V. M., & Thoms, R. C. (2021). Improving mental health through physical activity: A narrative literature review. *Physical Activity and Health*, 5(1), 146–153. <https://doi.org/10.5334/paah.108>
- Ghanbarzadeh, M., Taheri, A., & Heyat, F. (2016). Molecular structure and response of the Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) to exercise. *Annals of Military and Health Sciences Research*, 14(4), e59774. <https://doi.org/10.5812/amh.59774>
- Gomez-Pinilla, F., & Hillman, C. (2013). The influence of exercise on cognitive abilities. *Comprehensive Physiology*, 3(1), 403–428. <https://doi.org/10.1002/cphy.c110063>
- Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2243–2257. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.005>
- Illesca-Matus, R., Ardiles, N. M., Muñoz, F., & Moya, P. R. (2023). Implications of physical exercise on episodic memory and anxiety: The role of the serotonergic system. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(14), Article 11372. <https://doi.org/10.3390/ijms241411372>
- Kondo, M., & Shimada, S. (2015). Serotonin and exercise-induced brain plasticity. *Neurotransmitter*, 2, e793. <https://doi.org/10.14800/nt.793>
- Kukla-Bartoszek, M., & Głombik, K. (2024). Train and reprogram your brain: Effects of physical exercise at different stages of life on brain functions saved in epigenetic modifications. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(22), 12043. <https://doi.org/10.3390/ijms252212043>
- Latino, F., & Tafuri, F. (2024). Physical activity and cognitive functioning. *Medicina*, 60(2), 216. <https://doi.org/10.3390/medicina60020216>
- Liang, J., Wang, H., Zeng, Y., Qu, Y., Liu, Q., Zhao, F., Duan, J., Jiang, Y., Li, S., Ying, J., Li, J., & Mu, D. (2021). Physical exercise promotes brain remodeling by regulating epigenetics, neuroplasticity and neurotrophins. *Reviews in the Neurosciences*, 32(6), 615–629. <https://doi.org/10.1515/revneuro-2020-0099>
- Liu, L., Xin, X., & Zhang, Y. (2025). The effects of physical exercise on cognitive function in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 16, Article 1556721. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1556721>
- Lu, Y., Bu, F.-Q., Wang, F., Liu, L., Zhang, S., Wang, G., & Hu, X.-Y. (2023). Recent advances on the molecular mechanisms of exercise-induced improvements of cognitive dysfunction. *Translational Neurodegeneration*, 12(1), Artículo 29. <https://doi.org/10.1186/s40035-023-00341-5>
- Ma, Y., & Mumtaz, S. (2025). The long-term mental health benefits of exercise training for physical education students: A comprehensive review of neurobiological, psychological, and social effects. *Frontiers in Psychiatry*, 16, Article 1678367. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1678367>

- Maugeri, G., D'Agata, V., & Musumeci, G. (2023). Role of exercise in the brain: Focus on oligodendrocytes and remyelination. *Neural Regeneration Research*, 18(12), 2645–2646. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.373683>
- Maugeri, G., D'Agata, V., Magrì, B., Roggio, F., Castorina, A., Ravalli, S., Di Rosa, M., & Musumeci, G. (2021). Neuroprotective effects of physical activity via the adaptation of astrocytes. *Cells*, 10(6), 1542. <https://doi.org/10.3390/cells10061542>
- Mansoor, M., Ibrahim, A., Hamide, A., Tran, T., Candreva, E., & Baltaji, J. (2025). Exercise-induced neuroplasticity: Adaptive mechanisms and preventive potential in neurodegenerative disorders. *Physiologia*, 5(2), 13. <https://doi.org/10.3390/physiologia5020013>
- Martín-Rodríguez, A., Gostian-Ropotin, L. A., Beltrán-Velasco, A. I., Belando-Pedreño, N., Simón, J. A., López-Mora, C., Navarro-Jiménez, E., Tornero-Aguilera, J. F., & Clemente-Suárez, V. J. (2024). Sporting mind: The interplay of physical activity and psychological health. *Sports*, 12(1), 37. <https://doi.org/10.3390/sports12010037>
- Medina Cascales, J. Á., et al. (2019). Efecto del ejercicio y la actividad física sobre las funciones ejecutivas en niños y en jóvenes: Una revisión sistemática. *SPORT TK: Revista Euroamericana de Ciencias del Deporte*, 8(2), 43–54.
- Müller, P., Duderstadt, Y., Lessmann, V., & Müller, N. G. (2020). Lactate and BDNF: Key mediators of exercise induced neuroplasticity? *Journal of Clinical Medicine*, 9(4), 1136. <https://doi.org/10.3390/jcm9041136>
- Perini, R., Bortoletto, M., Capogrosso, M., Fertonani, A., & Miniussi, C. (2016). Acute effects of aerobic exercise promote learning. *Scientific Reports*, 6(1), Artículo 25440. <https://doi.org/10.1038/srep25440>
- Peterson, J. C. (2012). The adaptive neuroplasticity hypothesis of behavioral maintenance. *Neural Plasticity*, 2012, Article 516364. <https://doi.org/10.1155/2012/516364>
- Plunzevic Gligoroska, J., & Manchevska, S. (2012). The effect of physical activity on cognition – Physiological mechanisms. *Materia Socio-Medica*, 24(3), 198–202. <https://doi.org/10.5455/msm.2012.24.198-202>
- Ramos, J. M., & Galdeano, D. S. (2019). Educação física e o fator neurotrófico derivado do cérebro (BDNF) na aprendizagem escolar: Estudo de revisão sistemática. *Conexões: Educação Física, Esporte e Saúde*, 17, e-019005. <https://doi.org/10.20396/conex.v17i0.865131>
- Rahmi, U., Goenawan, H., Sylviana, N., Setiawan, & Murtiani, F. (2024). The impact of early growth response 1 (Egr1) on hippocampal synaptic plasticity and cognitive function: Narrative review. *Biomedical & Pharmacology Journal*, 17(2), 671–676. <https://dx.doi.org/10.13005/bpj/2894>
- Revelo Herrera, S. G., & Leon-Rojas, J. E. (2024). The effect of aerobic exercise in neuroplasticity, learning, and cognition: A systematic review. *Cureus*, 16(2), e54021. <https://doi.org/10.7759/cureus.54021>
- Riquelme-Urbe, D., Seplveda Guzmán, C., Muñoz Marambio, M., & Valenzuela Harrington, M. (s. f.). Ejercicio físico y su influencia en los procesos cognitivos. *Motricidad y Persona*, 13, 70–74.
- Romero Garavito, A., Díaz Martínez, V., Juárez Cortés, E., Negrete Díaz, J. V., & Montilla Rodríguez, L. M. (2025). Impact of physical exercise on the regulation of brain-derived neurotrophic factor in people with neurodegenerative diseases. *Frontiers in Neurology*, 15, 1505879. <https://doi.org/10.3389/fneur.2024.1505879>

- Romero Ramos, N., Romero-Ramos, Ó., & González Suárez, A. J. (2021). Actividad física y funciones cognitivas en personas mayores: revisión sistemática de los últimos 5 años. *Retos*, 39, 1017–1023. <https://doi.org/10.47197/retos.v1i39.81432>
- Swain, R. A., Berggren, K. L., Kerr, A. L., Patel, A., Peplinski, C., & Sikorski, A. M. (2012). On aerobic exercise and behavioral and neural plasticity. *Brain Sciences*, 2(4), 709–744. <https://doi.org/10.3390/brainsci2040709>
- Sun, W., & Zhou, J. (2018, 23–25 de octubre). The influence and mechanism of sports on children's cognitive ability [Resumen de presentación]. En *Proceedings of IBEC 2018*, Beijing, China.
- Tafari, F., & Latino, F. (2024). School medical service: Strategies to promote psycho-physiological well-being. *Pediatric Reports*, 16(1), 214–231. <https://doi.org/10.3390/pediatric16010019>
- Thomas, A. G., Dennis, A., Bandettini, P. A., & Johansen-Berg, H. (2012). The effects of aerobic activity on brain structure. *Frontiers in Psychology*, 3, Article 86. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00086>
- Van Praag, H., Shubert, T., Zhao, C., & Gage, F. H. (2005). Exercise enhances learning and hippocampal neurogenesis in aged mice. *The Journal of Neuroscience*, 25(38), 8680–8685. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1731-05.2005>
- Vints, W. A. J., Levin, O., Fujiyama, H., Verbunt, J., & Masiulis, N. (2022). Physical activity and the aging brain: The role of the blood-brain barrier and neurovascular coupling. *Frontiers in Neuroendocrinology*, 66, 100993. <https://doi.org/10.1016/j.yfrne.2022.100993>
- Winter, S., et al. (s. f.). *Neuroplasticidad y ejercicio físico en mayores* [Manuscrito no publicado]. NIH Manuscript Submission (NIHMS891538).
- Williams, C. A., Ford, P. R., Eccles, D. W., & Ward, P. (2020). Effect of football activity and physical fitness on information processing, inhibitory control and working memory in adolescents. *BMC Psychology*, 8(1), Article 42. <https://doi.org/10.1186/s40359-020-0041-7>
- Zhang, Y., Ma, H., Zhang, K., & Fu, Y. (2025). Exploring the landscape of physical activity and neuroplasticity research: A comprehensive bibliometric review. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, Article 1593690. <https://doi.org/10.3389/fspor.2025.1593690>
- Zhu, X., Chen, W., Pinho, R. A., & Thirupathi, A. (2025). Lactate-induced metabolic signaling is the potential mechanism for reshaping the brain function – Role of physical exercise. *Frontiers in Endocrinology*, 16, 1598419. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1598419>