

NeuroEDUCACIÓN FÍSICA: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN – ACCIÓN

Irene Pellicer Royo

www.neuro-motion.es

RESUMEN

El presente trabajo busca evidenciar, una vez más, los grandes beneficios que el ejercicio físico aporta para el desarrollo armónico del cerebro.

El punto de partida pone de manifiesto las evidencias que han ido surgiendo en las diferentes partes del planeta en relación al tema, con la intención de enmarcarlo y ofrecer una sólida base al planteamiento posterior, puesto que este no es el objetivo final.

Seguidamente, se ahondará en dos habilidades cognitivas concretas, la atención ejecutiva y la memoria de trabajo. Se han elegido estas dos, en primer lugar, por la posibilidad de ser medidas y evaluadas; en segundo lugar, por la relevancia de las mismas en el proceso de aprendizaje, puesto que sin la atención, nada más es posible y sin la memoria, nada deja huella. Y por último, por las investigaciones que demuestran que estas habilidades concretas mejoran notablemente gracias al ejercicio.

Posteriormente, se llega al cometido de esta propuesta que consiste en implementar una investigación que tendrá lugar el curso 2016 -2017 con gran parte del alumnado de tercero de la Educación Secundaria Obligatoria del centro *Jesuites Casp*, en la ciudad de Barcelona.

Esta investigación busca validar que el ejercicio desarrollado durante las clases de Educación Física mejora las dos habilidades cognitivas comentadas. Se desarrollará durante los dos primeros trimestres del curso que viene y consistirá en evaluar el nivel de atención ejecutiva y memoria de trabajo, mediante una aplicación móvil, de forma previa y posterior a la clase de educación física.

PALABRAS CLAVE

Educación física, ejercicio físico, atención ejecutiva, memoria de trabajo, investigación-acción.

SUMMARY

The present work seeks to demonstrate, once again, the great benefits that physical exercise provides for the harmonious development of the brain.

The starting point shows the evidences that have been emerging in different parts of the planet in relation to the subject, with the intention of framing it and offering a solid base to the subsequent approach, since this is not the final objective.

Next, it will delve into two specific cognitive skills, executive attention and working memory. These two have been chosen, in the first place, for the possibility of being measured and valued; in the second place, because of their relevance in the learning process, since without attention, nothing else is possible and without memory, nothing leaves a trace. And finally, for the research that shows that these specific skills improve significantly thanks to the exercise.

Subsequently, the purpose of this proposal is to implement the investigation with 15 years old students of a Secondary School in the city of Barcelona.

This research seeks to validate that the exercise developed during Physical Education classes improves the two cognitive skills discussed. It will be developed during the first two quarters of the year and will consist of evaluating the level of executive attention and working memory, through a mobile application, before and after the physical education class.

KEYWORDS

Physical education, physical exercise, executive attention, working memory, action research.

Enfoque del tema: EL EJERCICIO Y EL DESARROLLO COGNITIVO

El tema que aquí se presenta tiene una repercusión directa con la mejora educativa. Con una mejora real y profunda, es decir, a todos los niveles, no exclusivamente en relación al progreso de los resultados académicos, que muchas veces es el único factor buscado y por ende, contemplado. Se puede decir, incluso, que esta mejora académica es un beneficio colateral, puesto que los beneficios que reporta la práctica de actividad física son exponenciales y se dan tanto a nivel social, como emocional, como físico, como mental, etc.

Este tema ha despertado mi interés recientemente y es que a la educación física, una asignatura que había perdido su papel relevante (seguramente debido al momento en el que las investigaciones de Descartes (1990) le llevaron a plantear el dualismo entre el cuerpo y la mente) de repente lo retoma con fuerza de la mano de la neurociencia, puesto que le está dando un valor privilegiado, poniendo de manifiesto sus múltiples beneficios.

Siento cierto dolor al ver que el valor que está retomando mi amada materia es debido a los beneficios que produce a nivel cognitivo, puesto que su magia va mucho más allá. Si éste tiene ser el medio para que pueda desplegar todo su poder y que cada vez existan más momentos de acción y menos de *in-acción*, que así sea, lo acojo de buen grado.

Este trabajo pretende ser una puerta más, que contribuya a abalar lo que ya muchos otros han demostrado, centrados en la práctica de ejercicio físico. Aquí lo que se busca es validar los beneficios que la materia de educación física en sí, puesto que el ejercicio es su materia prima, para entre todas las personas que trabajan en la misma dirección, esta materia tenga la presencia que merece, con la finalidad última de llegar al bienestar del alumnado y de todas las personas que deseen dejarse impregnar por los beneficios de la acción motriz.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El planteamiento teórico de esta propuesta busca brindar una base sólida a la investigación que se desplegará posteriormente. Se centra en presentar los beneficios que reporta el ejercicio físico a nivel del desarrollo cognitivo del cerebro, para posteriormente entrar en dos habilidades cognitivas específicas: la atención ejecutiva y la memoria de trabajo.

Existen evidencias del interés por este cometido ya a finales de los 90, con las aportaciones de Shafer y Armer (1972), las de Symons, et al. (1997) o las de Lindner (1999). En la misma línea un poco más adelante en el tiempo, se encuentran las investigaciones de Morales (2004). Todos ellos apuntan a determinadas variables que tratan de explicar la mejora cognitiva proporcionada por el ejercicio, como: la cultura del esfuerzo, de persistencia y la competitividad a la que se encuentran sometidos los deportistas y su transferencia al ámbito académico; el aumento de la socialización que ofrece la actividad física y su repercusión en la mejora del rendimiento académico; el incremento de la oxigenación del cerebro con la práctica física, lo que resulta en una mayor capacidad de concentración y en una mejora de las capacidades cognitivas.

Otros de los pioneros en poner de manifiesto los beneficios de la actividad física a nivel cognitivo fueron Sibley y Etnier (2003). Realizaron un metaanálisis que analizaba 44 estudios, centrándose en ocho categorías cognitivas: las habilidades perceptivas, la memoria, el cociente de inteligencia, los resultados académicos, tests verbales, tests matemáticos y una última categoría enfocada en la creatividad o la concentración. En este caso, la correlación positiva entre la actividad física y el aprendizaje, se dio en todas las categorías, excepto para la memoria.

Paralelamente, desde el mundo de la medicina, aparecen líneas investigación en conexión, como el trabajo desarrollado por Laura J. Podewils et al. (2005) donde aprecian que la actividad física no solo mejora patrones en relación con la salud física sino que descubren factores que pueden estar relacionados con la integridad neuronal y la función cognitiva y que el ejercicio también puede contribuir a la finalidad que buscan: disminuir el riesgo de demencia. En esta dirección, se encuentran también las

aportaciones de Larson et al. (2006) que muestran la asociación del ejercicio regular con un riesgo reducido de demencia.

Por su parte, la doctora Maaika Angevaren (2008) revisó 11 ensayos clínicos realizados en Estados Unidos, Francia y Suecia, que incluyeron un total de 670 adultos mayores de 55 años. De ellos se extrae la conclusión de que actividad física aeróbica, aparte de mejorar la aptitud cardiorrespiratoria (en torno al 14% del VO₂max), es beneficiosa para la función cognitiva de adultos mayores sin deterioro cognitivo diagnosticado.

Ambas aportaciones coinciden con las desarrolladas por Middleton (2010) y Scarmeas (2009) que da un paso más, presentando la actividad física como una posibilidad en la prevención de la demencia.

El despertar del desarrollo cognitivo gracias al ejercicio, queda patente en la multitud de estudios, desde una u otra mirada, que han ido apareciendo en los últimos años, todos ellos con unas conclusiones comunes: la práctica de la actividad física puede promover la mejora en el funcionamiento mental y el desarrollo cognitivo (Davis, Tomporowski, Boyle, Waller, Miller, Naglieri, et al. 2007; Tomporowski, Davis, Miller, y Naglieri, 2008 y Trudeau y Shephard, 2008). Desde la psicología cognitiva el equipo Eriksen Flanker Task (Davrance, Karen; Hall, Ben; McMorris, Terry, 2009) con sus investigaciones sobre la inhibición en las respuestas han puesto de manifiesto que la práctica de ejercicio físico mejora, concretamente, los resultados del alumnado en una serie de test relacionados con la ortografía, las matemáticas y la lectura, destacando especialmente, la mejora en esta última.

Se ha encontrado otras propuestas concretas que también avalan el papel de la actividad física en la mejora de unas habilidades cognitivas concretas como la comprensión lectora, la atención y el rendimiento académico en general (Hillman, Pontifex, Raine, Castelli, Hall, y Kramer, 2009). Tras sus investigaciones con personas de avanzada edad, Wang (2013) concluye que altos niveles de actividad física se relacionan con un menor declive de la memoria episódica, el lenguaje y la cognición global.

Por su parte, Sarah-Jayne Blakemore (2011) demostró que la realización de movimientos sencillos (como agitar los brazos o saltar sin desplazarse) de forma previa

a la clase durante tan solo cinco minutos mejoraban el rendimiento del alumnado, siendo el aumento de la motivación un gran motor.

En la misma línea, se encuentra el trabajo de Stylianou et al. (2016) que tras sus estudios concluye que la aplicación programas de ejercicio físico antes del inicio de la jornada escolar (caminar o correr durante 15-20 minutos) mejora la disposición para el aprendizaje en las horas posteriores. Así mismo, comenta mejoras a nivel de comportamiento y concentración durante las tareas.

Esta propuesta queda plasmada en la realidad de, hoy en día, cientos de colegios de varios países. Todo ello surge a partir de la propuesta de correr una milla diaria de la profesora de educación primaria Elaine Wyllie. Esta iniciativa centrada en la lucha contra la obesidad infantil, ha llevado la Universidad de Stirling al deseo de medir los beneficios físicos, cognitivos y emocionales de la milla diaria¹.



Imagen 1. La milla diària en el colegio St. Ninians de Stirling (Escocia)

Comentados algunos de la multitud de estudios que a día de hoy existen sobre los beneficios que el ejercicio supone para el desarrollo cognitivo, seguidamente se da una pincelada de lo que ocurre en el interior de nuestro cerebro y el cuerpo en general, para que esto pueda acontecer.

¹ Información extraída del periódico El País (2016). Niños en forma con la milla diaria.

Lo que el ejercicio hace por el cerebro

Varios son los motivos que hacen del ejercicio tan sublime beneficio. Seguidamente se apuntan los más significativos.

Inicialmente, los beneficios a nivel cognitivo que se le pueden otorgar de manera intuitiva al ejercicio son la oxigenación y vascularización del mismo, es decir, el hecho de realizar actividad física conlleva un aumento de diversos parámetros, entre ellos, la frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca, que inciden en un cerebro más “hidratado”. Y es éste aumento de oxígeno y nutrientes en sangre, el responsable de cualquier mejora el aprendizaje.

Hoy, la neurociencia evidencia que el papel del ejercicio en relación al cerebro no se reduce al aumento de estos parámetros y por ende sus beneficios, sino que sus aportaciones a nuestra salud mental llegan mucho más allá. Una de estas evidencias, llega a partir de las investigaciones de Van Praag (2009) que descubrió que el aumento en la vascularización cerebral, aparte de mejorar la llegada de nutrientes y gracias a la intervención de unos factores de crecimiento (como el IGF-1 o el VEGF) estaba directamente relacionado con la neurogénesis, es decir, con la creación de nuevas neuronas. Algo que se pensaba que era imposible, la creación de nuevas neuronas, pasó a ser una realidad y lo que es mejor aún, el ejercicio tiene un papel notable este cometido.

Posteriormente, Pereira et al. (2007), pudo evidenciar que la neurogénesis comentada, se daba en una zona del cerebro relevante en el aprendizaje e imprescindible para la formación de las memorias, el hipocampo.

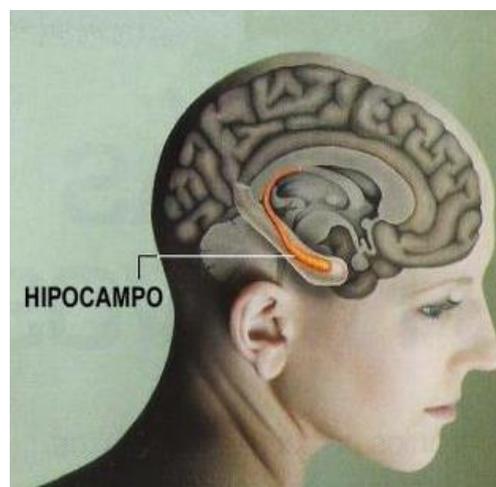


Imagen 2. Hipocampo (Fuente: 20minutos.es)

Así mismo, Nichol et al., (2009) demostraron, en ratones, que el ejercicio mejoraba las funciones cognitivas dependientes del hipocampo.

En la última década el músculo esquelético ha empezado a ser observado con mayor amplitud, pasando de poner la atención en su función como un órgano contráctil encargado del movimiento, para pasar a ser considerado un órgano endocrino altamente activo, productor, gracias al ejercicio, de múltiples hormonas con acción tanto endocrina como paracrina, denominadas miokinas (León et al. 2012).

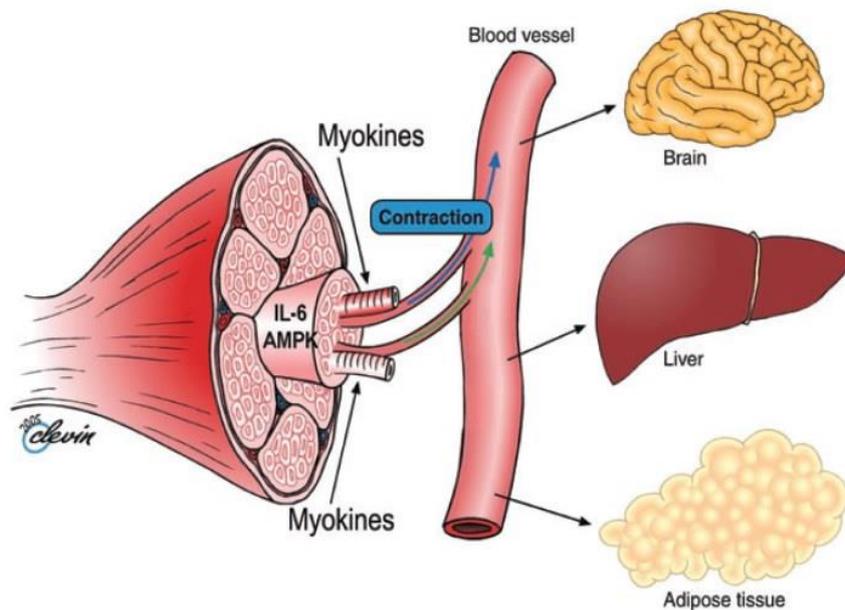


Imagen 3. El rol endocrino del músculo, gracias a las miokinas.

Una de estas miokinas es el Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro (BDNF) que es un homodímero proteico, producido principalmente por el sistema nervioso central y juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo neuronal. Recientemente se han encontrado valores más bajos de BDNF en pacientes obesos y con diabetes tipo 2 (Krabbe et al., 2007). Ocurre lo mismo en relación al Alzheimer, la depresión y la enfermedad cardiovascular (Pedersen, 2009). Lo verdaderamente relevante aquí es la capacidad del músculo esquelético para producir BDNF, en respuesta al ejercicio (Matthews et al., 2009).

Esta sustancia producto del ejercicio es tan relevante para el rendimiento cognitivo, que ha sido una apodada por el doctor John Ratey, de la Universidad de Harvard (2008) como la “sustancia milagrosa”. Este hecho queda plasmado en las

investigaciones con ratones de Vaynman et al. (2004) que descubrieron que si se bloquea esta molécula, los beneficios cognitivos que provoca la actividad física desaparecen.

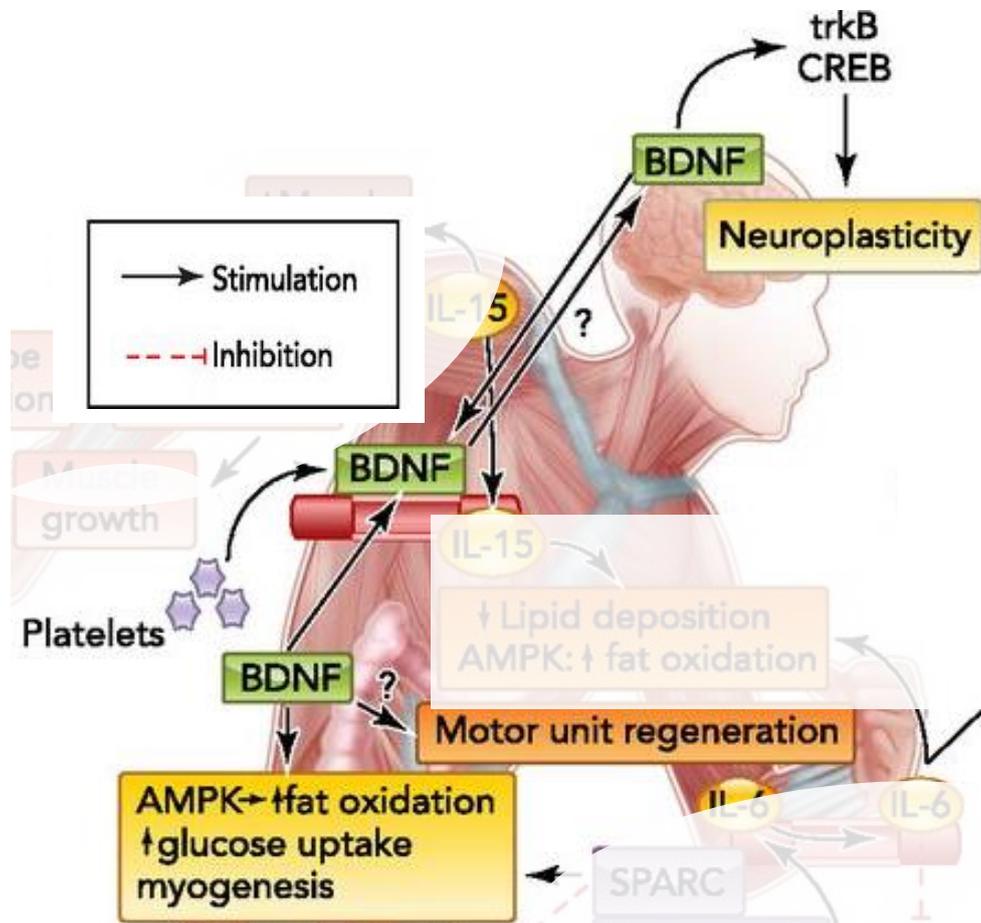


Imagen 4. Resumen de las principales miokinas (Fiuza-Luces et al., 2013).

Este descubrimiento queda patente una vez más, en un estudio realizado por Winter et al. (2007) en el que participaron estudiantes deportistas (de 20 años o más). Se comprobó que tras 3 minutos de *sprints*, aprendían palabras un 20% más rápido que aquellos que o bien descansaban o bien realizaban una larga prueba aeróbica de baja intensidad. Y sus análisis de sangre revelaron mayores niveles de BDNF.

Otro de los grandes elementos a tener presentes cuando se habla de beneficios cognitivos gracias al ejercicio son los neurotransmisores, cuyos beneficios cognitivos

están directamente relacionados con los cambios que estos producen en nuestro estado emocional.

En primer lugar tenemos a las **endorfinas**² analgésicos naturales (Bisquerra, 2009), que pueden ser hasta veinte veces más potentes que los medicamentos contra el dolor. A parte de inhibir el dolor, actúan a nivel cerebral produciendo experiencias subjetivas (disminución de la ansiedad, sensación de bienestar, sedación, suben la autoestima, mejoran el estado de ánimo, etc.).

La **serotonina**, es un neurotransmisor que produce calma, paciencia, control de uno mismo, adaptabilidad y humor estable (Ibarrola, 2013). Hoy se sabe que cuando nuestros músculos trabajan, liberan ácidos grasos a la sangre, que en acción conjunta con el triptófano (aminoácido esencial) incitan la producción de serotonina, la cual, asimismo es estimulada por el aumento de BDNF, secretado al moverse (Ratey, 2008).

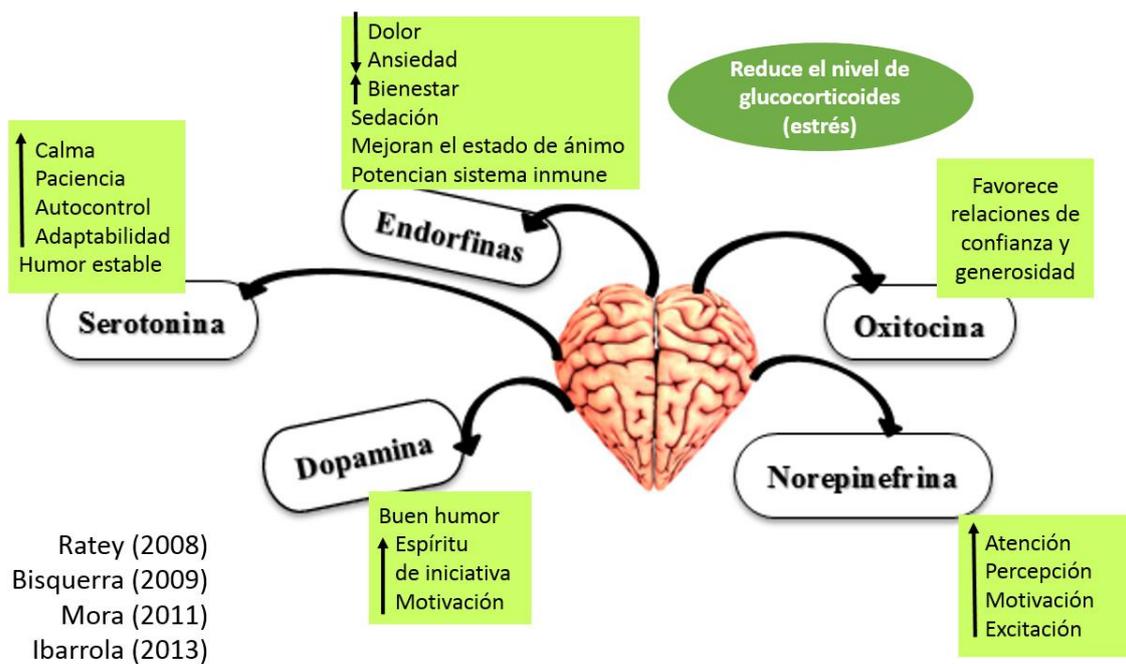


Imagen 5. Principales neurotransmisores que se producen con la actividad física.

La **dopamina** es otro beneficioso neurotransmisor que se produce con la actividad física. Se vincula con el buen humor, el espíritu de iniciativa y la motivación. Cuando su nivel es bajo tiene correspondencia con la depresión, la hiperactividad, la desmotivación y la indecisión, (Ibarrola, 2013). No podemos olvidar que reír libera

² Descubiertas en 1973 por Snyder y Pert del John's Hopkins Hospital

catecolaminas (la dopamina es una de ellas), que están asociadas al placer y la felicidad (Bisquerra, 2009), por lo tanto, el humor tiene que ser una emoción a potenciar en los centros educativos, también desde la óptica de la salud.

Además, justamente la adolescencia es el periodo donde la sensibilidad del cerebro a este neurotransmisor es máxima, lo que explica la extraordinaria receptividad a la recompensa por parte de los jóvenes, así como sus reacciones intensas ante la derrota y la victoria (Dobbs, 2011).

También encontramos la **oxitocina**, neurotransmisor involucrado en la formación de relaciones de confianza y generosidad, al que también se es muy sensible en la adolescencia, lo que hace tan gratificantes las relaciones sociales (Ibarrola, 2013).

Otro neurotransmisor producto de la actividad física es la **norepinefrina**, estudiado para entender el humor, y que tiene un efecto potenciador de la atención, la percepción, la motivación y la excitación (Ratey, 2008).

Comentados los principales beneficios que la actividad física produce a nivel cerebral, seguidamente se profundiza en su repercusión en las dos habilidades cognitivas a investigar: la atención ejecutiva y la memoria de trabajo.

La atención ejecutiva

Con respecto a este apartado, en primer lugar lo que interesa conocer es en qué consiste la capacidad cognitiva de la atención, para posteriormente indagar sobre el papel del ejercicio físico en el desarrollo de esta.

Atención

La atención puede definirse como un mecanismo central de control del procesamiento de información, que actúa de acuerdo con los objetivos del organismo activando e inhibiendo procesos. Este mecanismo puede orientarse hacia: los sentidos; las estructuras de conocimiento en memoria y los sistemas de respuesta. Además, se admite la posibilidad de que este mecanismo muestre características estructurales diferentes cuando actúa sobre las tres orientaciones comentadas (Posner y Dehaene, 1994 y Tudela, 1992).

La atención se materializa en tres redes, que conforman los mecanismos atencionales del cerebro humano (Posner y Rothbart, 1991 y Guillén, 2015³) y son:

- Red atencional de vigilancia (alerta): se desarrolla en primeros meses de edad y se activa ante la novedad. Está asociada al tálamo y áreas frontales del cerebro. Requiere de la intervención del neurotransmisor noradrenalina.

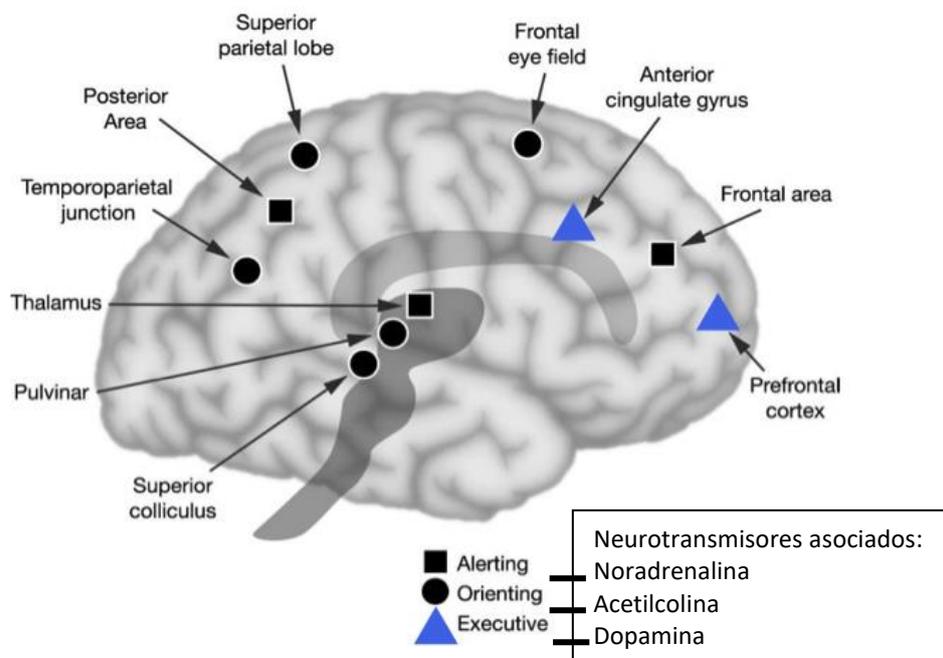


Imagen 6. Anatomía de las redes atencionales (Yi-Yuan Tang and Rongxiang Tang, 2015).

³ Información extraída del material del Postgrado en Neuroeducación. UB.

- Red atencional posterior (orientativa): se desarrolla durante el primer año de vida. Su nombre es debido a que es ella la que nos permite orientarnos, es decir, nos permite atender al estímulo indicado. Por ello resulta muy importante orientar a los bebés, puesto que esto les calma. Así mismo, esta red permite el desarrollo de una competencia básica para la vida que es la regulación emocional, para poder llegar al autocontrol. Se asocia a las regiones frontales y parietales del cerebro, así como al neurotransmisor acetilcolina.
- Red atencional anterior (ejecutiva): se desarrolla entre los 3 y 7 años de edad. Resulta clave en el proceso de aprendizaje. Interviene en las áreas prefrontales del cerebro y en las asociadas al sistema límbico. Está directamente relacionada el autocontrol, la resolución de problemas y en la capacidad de seguimiento las explicaciones de otras personas. En esta red interviene el neurotransmisor dopamina.

En estudios con primates se ha visto que estas dos últimas redes están relacionadas anatómicamente (Goldman-Rakic, 1988), aunque también pueden actuar de manera bastante independiente (Posner, Sandson, Dhawan y Shulman, 1989).

Relación entre la atención y el ejercicio

La doctora Rosa Casafont (2014), a favor de todo lo que se ha ido comentando, afirma que los programas educativos que fomentan el ejercicio, mejoran no solo el estado de forma físico y mental, sino también la habilidad cognitiva y el rendimiento, destacando la habilidad que se está abordando, la atención.

Por su parte, John Ratey (2008) afirma que el ejercicio enciende el cerebro. En concreto el córtex prefrontal (la red atencional ejecutiva es la que interviene en esta zona), responsable de funciones ejecutivas vitales para las personas, como planificar, organizar, iniciar o posponer respuestas, evaluar consecuencias, aprender de los errores, mantener la atención, etc. Esto se debe a que el ejercicio estimula una de las sustancias ya comentadas, el BDNF.

Este autor destaca la importancia de implementar estos beneficios en las personas con déficit de atención (TDH), puesto que en ellos el sistema atencional es irregular (discontinuo, fragmentado y descoordinado). Afirma también que para estas personas

es necesario despertar la motivación, vinculada al neurotransmisor dopamina, asociado también a la red atencional ejecutiva.

Al igual que Guillén (2015) recomiendan la práctica de actividades marciales. Ratey (2008) amplía su propuesta a la gimnasia artística, debido a las exigencias coordinativas que comporta, puesto que las personas con TDH paradójicamente también destacan por tener la capacidad de estar *hyperfocus*⁴ en algunas actividades.

Las mismas conclusiones sobre la relación entre el ejercicio y la atención se extraen de las investigaciones de Tomás Ortiz (2009) que determinan que la realización de una serie de ejercicios (semejantes a la práctica del calentamiento deportivo) de forma previa a la clase, mejoran la atención hacia la misma. Igualmente comenta que mejora el rendimiento del alumnado, debido a la predisposición física y psicológica que ofrece y al aumento en la motivación (es decir, en el nivel de dopamina y como ya se ha comentado es el neurotransmisor asociado a la red atencional ejecutiva) que produce.

Así mismo, en la investigación desarrollada por Kubesch et al. (2009) a través de un programa de ejercicio físico para estudiantes de 13 y 14 años de edad, se puso de manifiesto una mejora de la atención ejecutiva a partir de unas tareas de discriminación visual en el grupo experimental por encima del grupo control. El grupo experimental practicaba ejercicio predominantemente aeróbico (de 30 minutos de duración), mientras que el grupo control que llevaba a cabo descansos activos de 5 minutos.

Del mismo modo, hay que comentar, el estudio realizado por Eriksen Flanker Task (Davrance, K., Hall, B., McMorris, T., 2009) donde se evaluaron los efectos del ejercicio físico moderado sobre la atención (en 20 estudiantes de nueve años de edad). Los análisis demostraron que el rendimiento de los estudiantes en las pruebas cognitivas era mejor tras la sesión de ejercicio físico, especialmente cuando las tareas eran más complejas. Así mismo, destacó la mejora en relación a los procesos atencionales.

Más tarde Hilman et al. (2014) realizó una la investigación consistente en un programa de actividad física extraescolar, de 9 meses de duración, para niños de entre 7 y 9 años. Los resultados van en sincronía con los anteriores, puesto que los participantes en el programa manifestaron una mayor actividad cerebral, en concreto, al resolver

⁴ Traducción al español: muy concentrados.

tareas en las que intervenían los recursos atencionales, a diferencia de los del grupo de control.

Otra de las investigaciones que abalan el uso de la acción motriz para la mejora atencional son las de Ma et al. (2015), que extraen la conclusión de que en educación primaria, la realización de descansos activos (una serie de movimientos rápidos) de tan solo 4 minutos de duración son suficientes para optimizar la atención, lo cual además mejora el rendimiento en la actividad posterior.

En esta dirección están trabajando varios profesionales de la actividad física y el deporte, destacando el grupo de investigación *I'm fine*⁵, del INEF de Madrid, liderado por la Doctora María Marcela González Gross que utilizan plataformas interactivas y atractivas para la implementación de los descansos activos y que están consiguiendo que los docentes de otras materias los lleven a sus clases. Aunque el objetivo de este grupo no sea directamente la mejora atencional, sino más bien, la salud del alumnado, su propuesta repercute positivamente en esta.

Un ejemplo de estas plataformas es la llamada *gonoodle*⁶, en ella el alumnado elige un monstruo, que al bailar / moverse (acumular minutos activos) se va haciendo cada vez más grande y más feo, hasta que llega el momento que una nave va a buscarlo y se lo lleva, momento en el que se debe iniciar el siguiente reto (monstruo).



Imagen 7. *Gonoodle*: programa de descansos activos.

⁵ Más información en <http://www.imfine.es/>

⁶ Más información en <https://www.gonoodle.com/>

Como se ha ido describiendo a lo largo de este apartado, la mayoría de autores comentan que las mejoras a nivel atencional debido al ejercicio se dan en las áreas prefrontales del cerebro y/o en las asociadas al sistema límbico. Muchos de ellos destacan la importancia del neurotransmisor dopamina. Como se observa en la imagen 6 están haciendo alusión a la red atencional anterior, la referente a la atención ejecutiva, es por ello, que esta investigación se centra en ella.

Enmarcada la habilidad cognitiva de la atención, seguidamente se ahonda en otra habilidad relevante en el proceso de aprendizaje, la memoria.

La memoria de trabajo

Al igual que con la habilidad atencional, en primer lugar se ofrece una pequeña pincelada sobre la memoria a nivel conceptual, para pasar seguidamente a hacer una revisión sobre lo que dicen las investigaciones en la relación entre la memoria y el ejercicio físico.

Memoria

Sobre la memoria se ha indagado mucho con la finalidad de mejorar el proceso de aprendizaje. Una de las personas que ha contribuido en esta dirección desde la perspectiva de la neurociencia es el doctor Francisco Mora Teruel (2013). Él la define como el proceso por el que retenemos lo aprendido a lo largo del tiempo, abarcando también la capacidad de evocar lo aprendido cuando se desea y hacer uso de ello.

Un principio relevante a tener presente es que las memorias son redes de neuronas entrelazadas, distribuidas en la corteza cerebral, que se forman por conexiones sinápticas entre ellas y que están moduladas por la experiencia (Fuster, 2010⁷).

Estas redes neuronales se pueden agrupar en función de sus características en dos bloques principales: las memorias declarativas y las memorias no-declarativas (Mora, 2013).

- Las memorias declarativas (explícitas) son conscientes. Son hechos ocurridos que podemos evocar y contar.

Dentro de este tipos de memorias se incluyen muchos otros, como por ejemplo, la memoria a corto plazo, a largo plazo, la memoria icónica (dura la ráfaga de un segundo), así como, la memoria de trabajo.

En todas ellas tiene un papel fundamental el hipocampo, así como otras estructuras adyacentes: las cortezas entorrinal, perirrinal y parahipocampal y la propia amígdala. Todas ellas constituyen lo que se conoce como el sistema de memoria del lóbulo temporal medial (SMLT).

Sin embargo, aunque el hipocampo es vital en el proceso de formación de las memorias, no es el depósito definitivo de estas, sino que lo es la corteza cerebral.

⁷ Vídeo divulgativo donde el neurocientífico Joaquim Fuster habla sobre los mecanismos de la memoria.

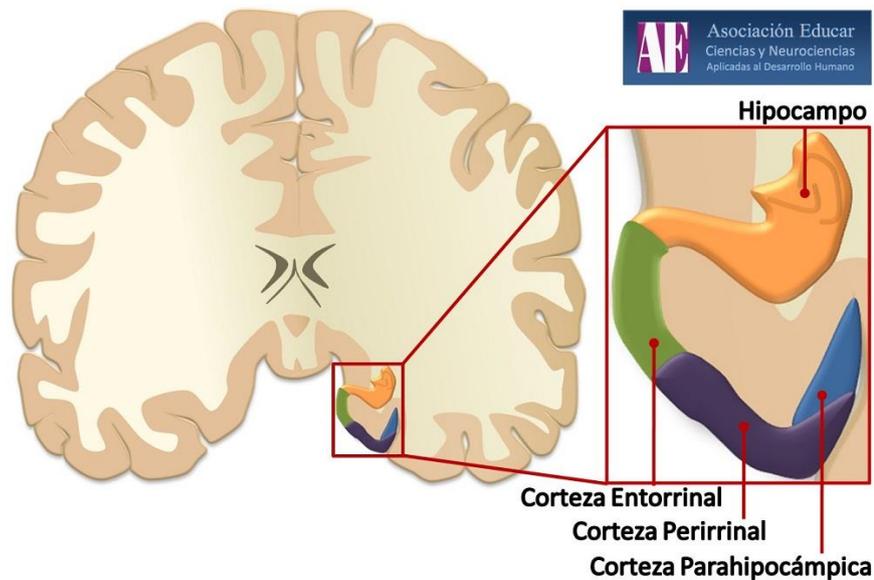


Imagen 8. Zonas del cerebro con especial relevancia en las memorias declarativas.

- Las memorias no-declarativas (implícitas) son las que nos permiten ir en bicicleta, por ejemplo. Son memorias no expresadas de modo consciente. En ellas el aprendizaje es guardado en la memoria de nuestro cerebro de una manera clara y solo se evoca cuando se necesita. Con ellas se guardan la infinidad de actividades cotidianas que se llevan a cabo.

Al igual que en las memorias declarativas, existen varios tipos de memorias implícitas, como por ejemplo, aquellas que permiten asociar recuerdos con estímulos sensoriales (un ejemplo sería el perro que saliva al oír una campanita sin la presencia de comida) y con estímulos emocionales (vivencias con estímulos de intenso placer o dolor).

Hay que comentar también que hoy la neurobiología revela que cada área de la corteza cerebral, cada circuito neuronal, lleva intrínseca a sus redes la memoria:

- La memoria perceptiva de nuestro cuerpo (asociada al tacto) se encuentra en el área somatosensorial de la corteza parietal y en las áreas motoras de la corteza frontal.
- La memoria perceptiva visual: en las áreas visuales del cerebro.
- La memoria perceptiva auditiva: en las áreas auditivas.

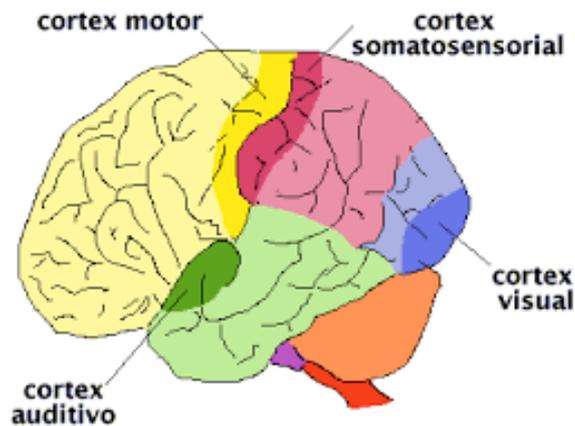


Imagen 9. Áreas de la corteza cerebral que llevan integradas sus propias redes de memoria.

Para que se produzca el almacenamiento de memoria son necesarios ambos sistemas, los sistemas de memoria consciente (explícita) para retener los hechos y sucesos personales y los sistemas de memoria inconsciente (implícita) para guardar las experiencias motoras y sensitivas. Sin olvidar el recuerdo de los sentimientos que aparece involucrado en el almacenamiento de memoria explícita y la memoria de los estados emocionales (respuestas autónomas y somáticas) que corresponde al almacenamiento de memoria implícita (Kandel, 2000). De ahí que surja la estrecha relación entre la emoción y el aprendizaje.

Memoria de trabajo

La memoria de trabajo es una memoria a corto plazo que permite el mantenimiento y la manipulación de la información necesaria para la realización de tareas cognitivas complejas, como razonar, aprender, leer, conversar, etc. puesto que se encarga de integrar la información que se percibe del entorno y combinarla con el recuerdo de experiencias pasadas almacenadas en la memoria a largo plazo (Kandel, 2007 y Marina y Pellicer, 2015).

En este tipo de memoria interviene la sede de las funciones ejecutivas: la corteza prefrontal, teniendo un papel trascendental un área concreta: la zona dorsolateral.

Corteza dorsolateral

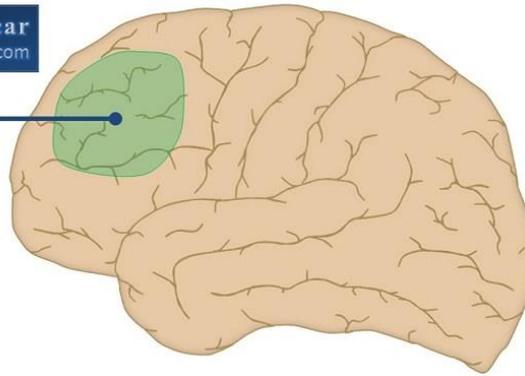


Imagen 10. Corteza dorsolateral, de gran relevancia en los procesos de memoria.

Relación entre la memoria y el ejercicio

Uno de los pioneros en estudiar los efectos positivos del ejercicio físico en el cerebro fue Arthur Kramer (2006) de la Universidad de Illinois. Con sus estudios concluye que el mayor impacto positivo de la actividad física se da en uno de los objetos de estudio de esta investigación: la memoria de trabajo. Además de en otras actividades como la planificación, la programación, los procesos inhibitorios y la multitarea.

Para demostrar esta correlación positiva entre el ejercicio físico y la memoria de trabajo, Kamijo et al. (2011) analizaron un programa de actividad física extraescolar de 9 meses de duración, en el que participaron 43 niños (de entre 7 y 9 años). El programa estaba centrado en actividades cardiovasculares, combinado con actividades de fuerza. Los resultados concluyeron que tras la participación en el programa, estos niños eran más competentes en el reconocimiento de estímulos presentados previamente, lo que demuestra una clara mejora en memoria de trabajo.

En diversos estudios de los neurocientíficos Kirk Erickson et al. (2011), Fernando Gómez-Pinilla y Charles Hillman (2013) se descubrió un aumento del volumen del hipocampo debido a la práctica de ejercicio físico aeróbico. Como se ha expuesto anteriormente el hipocampo es la zona de mayor relevancia en la formación de las memorias declarativas, siendo la memoria de trabajo, una de ellas. Este aumento del hipocampo, se traduce en una mejora de la habilidad cognitiva estudiada, como se concluye también en el estudio reciente de Sandra Chapman et al. (2016). En el mismo se crearon dos grupos de personas adultas, uno de ellos se sometía a un entrenamiento cognitivo y el otro a un entrenamiento físico. Concluyen que los

impactos de los dos tipos de trabajos reportan beneficios diferentes en el cerebro, mejorando la función ejecutiva en el grupo de entrenamiento cognitivo y la memoria (con su correlativo aumento del hipocampo) en el grupo de actividad física. Por ello, sugieren combinar los dos tipos de entrenamientos.

En la misma línea se encuentra el reciente estudio de Schulkin (2016) de la Universidad de Georgetown, que concluye que el ejercicio aeróbico aumenta el tamaño del hipocampo anterior, lo que se vincula con una la mejora de la memoria, teniendo la capacidad atlética, el esfuerzo, el ejercicio y el deporte un impacto positivo sobre la función neuronal.

En el terreno español, las investigadoras Padilla, Pérez y Andrés (2014) del grupo de investigación en Neuropsicología y Cognición de la Universidad de las Islas Baleares, realizaron un estudio con personas de entre 18 y 30 años con diferentes niveles de actividad física. Concluyeron que los participantes que realizaban ejercicio físico de forma regular mostraban una mejor capacidad de memoria de trabajo que los participantes sedentarios. Además de una mejor capacidad para llevar a cabo dos tareas verbales simultáneas e inhibir interferencias en la realización de dichas tareas.

El argentino Facundo Manes (2014) creador del Instituto de Neurociencias de la Fundación Favoloro, relata en uno de sus libros, dos estudios, uno a largo plazo (un programa de actividad física de un año de duración) y otro puntual (una práctica aislada y concreta de pedaleo en una bicicleta durante 30 minutos). Como describe, ambos tipos de trabajo (el crónico y el puntual) reportan mejoras en la habilidad cognitiva de la memoria.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez enmarcado el tema en sí y comentadas algunas de las últimas investigaciones y conclusiones con respecto a la relación entre el ejercicio y las funciones cognitivas de la atención ejecutiva y la memoria de trabajo, seguidamente se pasa de detallar el proceso de esta investigación.

Problema a tratar

Muchas son las investigaciones que en la última década han aparecido sobre los beneficios que la actividad física reporta en el desarrollo de las funciones cognitivas.

El desafío que aquí se plantea es comprobar si la materia de Educación Física en sí, donde el ejercicio físico (entendido como “la actividad física planificada, estructurada y repetitiva realizada con una meta, con frecuencia con el objetivo de mejorar o mantener la condición física de la persona”⁸) es el medio para el desarrollo de la gran mayoría de los contenidos y para la adquisición de la mayor parte de las competencias, también hace emerger los citados beneficios.

El currículum de la materia plantea cuatro bloques de contenidos a abordar. El primero de ellos es la condición física y la salud, en él el ejercicio está siempre presente, aunque es necesario plantearlo de forma atractiva para conseguir una buena predisposición de los estudiantes. Otro de estos bloques son los juegos y los deportes, donde sin duda el ejercicio existe y donde normalmente la motivación del alumnado es elevada. El tercer bloque de contenidos hace referencia a la expresión corporal, donde la exigencia física suele ser menor y el último de ellos son las actividades en el medio natural, las cuales, mayoritariamente representan desafíos a nivel físico elevados.

Este proyecto trata de validar, si las clases de Educación Física, como reportan las investigaciones citadas en relación al ejercicio físico, logran beneficios para dos funciones cognitivas concretas: la atención ejecutiva y la memoria de trabajo.

⁸ Extraído de la guía de los Ministerio de Sanidad y Consumo y de Educación y Ciencia: Actividad física y salud en la infancia y la adolescencia. Guía para todas las personas que participan en su educación.

Preguntas que sirvan de base a la reflexión

Antes de abordar el planteamiento de la investigación en sí, son varias las dudas y preguntas que despiertan mi curiosidad y a las que se intentará dar respuesta con este proceso, como por ejemplo:

- ¿La clase de Educación Física siempre reporta beneficios cognitivos?
- ¿Realmente la clase de Educación Física tiene un efecto positivo en la mejora de la atención ejecutiva y la memoria de trabajo o es necesario un tipo de trabajo concreto y específico, así como, una duración concreta del ejercicio, etc.?
- ¿Se obtendrán los mismo resultados independientemente del tipo de trabajo principal de la sesión de Educación Física, o habrá algún tipo concreto de ejercicio (aeróbico, anaeróbico, de fuerza muscular...) que dará mejores resultados?
- ¿La predisposición positiva del alumnado hacia la práctica variará los resultados?, ¿Se obtendrían los mismos beneficios al plantear propuestas de ejercicio similares, independientemente de la motivación hacia ellas por parte del alumnado?, ¿Metodologías innovadoras y propuestas atractivas obtendrán mayores beneficios o no tendrán incidencia, puesto que lo que pondera es el tipo de trabajo?
- ¿La evolución será similar en todo el alumnado o una parte del alumnado mejorará y otra no? ¿Habrá diferencias entre estudiantes deportistas y sedentarios?
- ¿Se darán mayores mejoras en los estudiantes sedentarios por el hecho de hacer un cambio o será justamente a la inversa, por la reserva cognitiva de los deportistas? En tal caso, ¿Alguna práctica extraescolar, en concreto, dará mayores beneficios cognitivos? ¿Habrá algunas horas mínimas de práctica extraescolar, sumadas a la clase de Educación Física que determinen el umbral de ejercicio semanal para disfrutar de los beneficios cognitivos del ejercicio?
- ¿El hecho de que el pre y post-test sea mediante una aplicación móvil hará que el alumnado esté predispuesto a participar en la investigación y por ello, la fiabilidad de los datos será elevada o representará dificultades?

Objetivos e hipótesis

Comentadas las preguntas previas que dan sentido al desarrollo de todo el proceso, el objetivo principal que persigue esta investigación es:

- Validar la mejora en el nivel de atención ejecutiva y memoria de trabajo del alumnado, a partir del ejercicio realizado durante la clase de Educación Física.

Aunque con todas las dudas emergidas se podrían plantear muchos objetivos secundarios, los que se han decidido priorizar son los siguientes:

- Comparar las diferencias en estas habilidades cognitivas a nivel de género.
- Comprobar si la práctica deportiva extraescolar incrementa los beneficios obtenidos con la clase de Educación Física.

A partir de los objetivos planteados surge la hipótesis a validar:

El ejercicio físico realizado durante la clase de Educación Física mejora tanto la atención ejecutiva, como la memoria de trabajo del alumnado, independientemente del tipo de trabajo realizado.

Metodología

Esta investigación será implementada durante el primer y segundo trimestre del curso 2016 – 2017, con tres grupos de tercero de Educación Secundaria Obligatoria del centro *Jesuïtes Casp*, en la ciudad de Barcelona.

Cada grupo tiene unos treinta estudiantes por lo que se está hablando de una muestra de unos 90 alumnos.

El primer día de clase, durante la explicación de la materia del Educación Física, se comentará la investigación a llevar a cabo y el porqué de la misma. Se dejará que el alumnado de forma voluntaria elija si desea participar o no en el proceso, concretando el compromiso real que conlleva, para asegurar la validez de los datos.

La investigación consiste en hacer un test de forma previa a la clase de Educación Física (pre test) y otro cuando se ha finalizado la sesión (post test).

Se ha decidido hacer este pre y post test a través de una aplicación móvil. Esta decisión surge, en primer lugar, porque la *app* permite que el pre y el post test sean diferentes pero del mismo nivel de dificultad, lo que garantiza la validez de los datos. En segundo,

porque se cree que este formato llevará a una mejor predisposición por parte del alumnado.

Después de probar y revisar varias aplicaciones se ha elegido la *app memorado*, por varios motivos:

1. La versión gratuita de la aplicación permite jugar siempre a tres juegos concretos, siendo uno de memoria y dos atencionales.
2. Cada uno de estos tres juegos, tiene 30 niveles. Estos son suficientes para todas las clases de Educación Física del primer y segundo trimestre.
3. Cada uno de los 30 niveles ofrece una dificultad progresivamente superior y se van abriendo, para poder ser utilizados, en función de los resultados, lo que permite una individualización del aprendizaje.

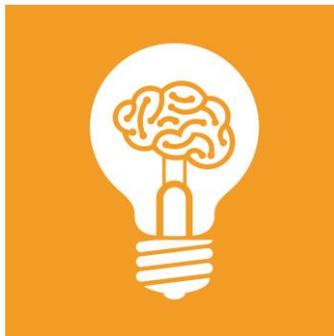


Imagen 11. Aplicación móvil para el desarrollo de la investigación.

Para valorar la atención ejecutiva se utilizará el juego colores confusos y para la memoria de trabajo, el llamado super memoria.

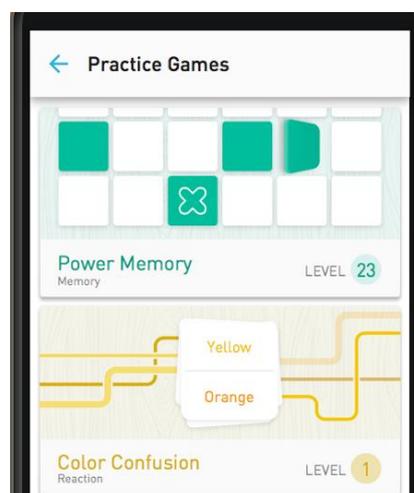


Imagen 12. Juegos de memorado para la atención y la memoria.

El juego de los *colores confusos* tiene dos casillas: una superior y una inferior. En la superior, hay que hacer caso al texto, que indica el color a elegir (por ejemplo, verde) y en la inferior, hay que atender al color del texto, independientemente del significado de la palabra.

En el juego *super memoria* aparecen una serie de cuadrados, unos blancos y otros verdes. Tras unos segundos todos los cuadrados se vuelven blancos. Hay que recordar los cuadrados que inicialmente estaban pintados en verde y clicar sobre ellos.

Cada día se anotará el número de aciertos en el pre y el post test por parte de cada estudiante, en los dos juegos. Así mismo, con el fin de responder a los objetivos secundarios planteados, el primer día de clase se anotará el sexo de los estudiantes (puesto que no se registrarán sus nombres por temas de privacidad), así como, las actividades físicas que practican de forma extraescolar y el número de horas de dedicación semanal a estas.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1					Dia 1		Dia 2		Dia 3	
2		Sexo	AF practicada	h/semanales	Pre 7	Post 7	Pre 7	Post 7	Pre 7	Post 7
3	Alumno 1									
4	Alumno 2									
5	Alumno 3									
6	Alumno 4									
7	Alumno 5									
8	Alumno 6									
9	Alumno 7									
10										
11	MEDIA				#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
12										

Imagen 13. Matriz para el registro de los datos.

FASES DEL PROCESO DE TRABAJO

El desarrollo de esta investigación se plantea en cuatro fases. La primera de ellas es la destinada a la preparación de la información, los materiales, así como, los recursos necesarios para la posterior implementación de la misma (fase dos). En la tercera fase se lleva a cabo el análisis de los datos recopilados. Y la cuarta fase consiste en compartir los resultados obtenidos.

Fase 1

La fase uno es de vital importancia para asegurar el desarrollo adecuado de la investigación, así como, la fiabilidad de los datos.

Los aspectos a tener en cuenta para el correcto desarrollo de la misma son:

- Seleccionar el sistema más adecuado para la recogida de los datos.
Como se ha comentado previamente se ha optado llevar a cabo este proceso, mediante una aplicación móvil, en concreto, la llamada *memorado*.
- Preparar las matrices con las que se hará la recogida de datos.
- Enseñar al alumnado el correcto uso del sistema seleccionado para la recogida de los datos.

El primer día de clase, una vez explicada la investigación se procederá con los estudiantes a la descarga de la aplicación, la realización del test inicial (obligatorio por parte de la aplicación) y la realización de los primeros juegos para que entiendan bien el funcionamiento de la *app* y resolver cualquier duda.

- Buscar un sistema para asegurar la integridad de los aparatos móviles del alumnado durante la duración de la sesión de Educación Física.

En principio, el docente guardará los teléfonos del alumnado en una mochila que llevará encima durante la sesión.

- Tomar nota de todos los datos relevantes para la investigación.

Este proceso también se llevará a cabo el primer día. Tras la explicación teórica de la sesión se bajará al patio y se practicarán juegos de cohesión grupal. Se aprovechará este momento para que los estudiantes que hayan decidido participar en la investigación, de uno en uno, vaya pasando por una zona del patio donde estará ubicado el ordenador e introducir sus datos (sexo, actividad extraescolar deportiva practicada y número de horas de dedicación semanal).

Fase 2

La fase dos consiste en la implementación de la investigación, para ello será necesario:

- Pasar el pre y post test, mediante la *app memorado*, en todas las clases de educación física del primer y segundo trimestre.

- Recordar cada sesión al alumnado que deben traer consigo sus teléfonos móviles a la sesión de Educación Física.
- Tener preparado el sistema para guardar los teléfonos móviles de los estudiantes.
- Tener el ordenador preparado para introducir los datos del pre y post test. Se valorará la opción de que sea un alumno voluntario el que se encargue de introducir los datos en la matriz.

Fase 3

La fase tres consiste en el análisis de los datos recogidos:

- Validar la hipótesis planteada.
- Responder a las preguntas cuestionadas.
- Comparar las diferencias a nivel de género.
- Comparar las diferencias entre alumnos activos y pasivos en su tiempo de ocio.
- Valorar qué actividades extraescolares deportivas favorecen en mayor medida las habilidades cognitivas estudiadas.
- Crear las conclusiones del proceso de investigación seguido y plantear posibles cuestiones de cara a seguir investigando.

Fase 4

La fase cuatro consiste en valorar, si tiene sentido, compartir la información extraída mediante un artículo, comunicación o similar.

CRITERIOS, TÉCNICAS Y ESTRATEGIAS PARA LA RECOGIDA DE LA INFORMACIÓN

El criterio principal que ha llevado a recoger información sobre las dos habilidades cognitivas seleccionadas: la atención ejecutiva y la memoria de trabajo, se extrae a partir de las investigaciones comentadas en el marco teórico. Estas afirman que los beneficios que genera el ejercicio indican especialmente en la mejora de estas dos habilidades.

Con respecto a las técnicas de recogida de información, se valoraron diversas opciones. Finalmente, se ha optado por utilizar una aplicación móvil para que la participación y predisposición del alumnado ante la investigación sea positiva y se mantenga durante todo el tiempo que durará la misma.

Se ha creado una matriz con el programa *Excel* para ir volcando los datos obtenidos en cada una de las sesiones, agrupando al alumnado por grupos-clase y teniendo en cuenta la variable género, la variable práctica de actividad extraescolar deportiva y la variable horas de dedicación semanales.

A nivel de estrategias para la recogida de información, se ha optado por decidir que el alumnado participe de forma voluntaria en la investigación, para asegurar la validez de los datos. Para ello, el primer día de clase se presentará tanto la investigación, como la aplicación móvil que se utilizará, la cual será descargada y probada. Una vez vivenciada, el alumnado libremente elegirá participar en el proceso o no, teniendo presente que esto conlleva un compromiso durante el primer y segundo trimestre.

Una vez se haya recogido toda la información se hará uso de un programa, como el SPSS para analizar los datos de forma ágil y así validar la hipótesis y extraer conclusiones.

Tabla 4. Cronograma de la fase 3.

Fase 3	Abril	Mayo	Junio
Validar la hipótesis planteada.			
Responder a las preguntas cuestionadas.			
Comparar las diferencias a nivel de género.			
Comparar las diferencias entre alumnos activos y pasivos en su tiempo de ocio.			
Valorar qué actividades extraescolares deportivas favorecen en mayor medida las habilidades cognitivas estudiadas.			
Crear las conclusiones del proceso de investigación seguido y plantear posibles cuestiones de cara a seguir investigando.			

Tabla 5. Cronograma de la fase 4.

Fase 4	Junio
Valorar si tiene sentido compartir la información extraída, mediante un artículo, comunicación o similar.	

REVISIÓN PANORÁMICA DE LA LITERATURA EXISTENTE MÁS SIGNIFICATIVA Y LOS RECURSOS AL ALCANCE

Angevaren, M.; Aufdemkampe, G.; Verhaar, H.J.J.; Aleman, A.; Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2):CD005381.

Bisquerra, R. (2009). *Psicopedagogía de las emociones*. Madrid: Síntesis.

Blakemore, S.J. y Frith, U. (2011). *Cómo aprende el cerebro, las claves para la educación*, Barcelona: Ariel.

Casafont, R. (2014). *Viaje a tu cerebro emocional*. Barcelona: Ediciones B.

Catalán, M. P. (2016) Tesis doctoral: Influencia de la actividad física en la degeneración cognitiva (Enfermedad de Alzheimer): estudio genético APOE y mediante biomarcadores A β en población sana. [en línea][Disponible: <https://zaguan.unizar.es/record/47885/files/TESIS-2016-069.pdf>] [Consulta: 20 de Julio de 2016]

Chapman, S.B.; Aslan, S.; Spence, J.S.; Keebler, M.W.; DeFina, L.F.; Didehbani, N.; Perez, A.M.; Lu, H. y D'Esposito, M. (2016) Distinct Brain and Behavioral Benefits from Cognitive vs. Physical Training: A Randomized Trial in Aging Adults. *Front. Hum. Neurosci.* 10:338.

Davis, C. L., Tomporowski, P. D., Boyle, C. A., Waller, J. L., Miller, P. H., Naglieri, J. A., & Gregoski, M. (2007) Effects of aerobic exercise on overweight children's cognitive functioning: a randomized controlled trial. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 78, 510-519.

Davrance, Karen; Hall, Ben; McMorris, Terry (Oct 2009). Effect of acute exercise on cognitive control required during an eriksen flanker task. *Journal of Sport & Exercise Psychology* 31 (5): 628–639.

Descartes, R. (1990). *El tratado del hombre. Traducción de Guillermo Quintás*. Madrid: Alianza.

Goldman-Rakic, P. (1988) Topography of cognition: parallel distributed network in primate association cortex. *Ann. Rev. Neurosci*, 11, 137-56.

Forés, A.; Gamo, J.R.; Guillén, J.C.; Hernández, T.; Ligoiz, M.; Pardo, F. y Trinidad, C. (2015). *Neuromitos en educación*. Barcelona: Plataforma editorial.

Hillman, C. H.; Pontifex, M. B.; Raine, L. B.; Castelli, D. M.; Hall, E. E. y Kramer, A.F. (2009) The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159, 1044-1054.

Hilman et al. (2014) Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, 134(4):1063-7.

Ibarrola, B. (2013). *Aprendizaje emocionante*. Madrid: SM.

Kandel, E.R.; Schwartz, J.H. y Jessell, T.M. (2000). *Principles of Neural Science, 4th ed.* New York: McGraw-Hill.

Krabbe, K. S.; Nielsen, A. R.; KroghMadsen, R.; Plomgaard, P.; Rasmussen, P.; Erikstrup, C. et al. (2007). Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) and type 2 diabetes. *Diabetologia*, 50, 431-438.

Kramer, A.F.; Erickson, K.I. y Colcombe, S.J. (2006). Exercise, cognition, and the aging brain. *Journal of Applied Physiology*, 101(4): 1237-1242.

Larson, E.B.; Wang, L.; Bowen, J.D.; McCormick, W.C.; Teri, L.; Crane, P. y Kukull, W. (2006). Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Ann Intern Med*. 144(2): 73-81.

León, H.H.; Melo, C.E. y Ramírez, J.F. (2012). Role of the myokines production through the exercise. *Journal of Sport and Health Research*. 4(2):157-166.

Lindner, K. (1999) Sport participation and perceived academic performance of school children and youth. *Pediatric Exercise Science*, 11, 129-143.

Ma J. K., Le Mare L., Gurd B. J. (2015). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9- to 11-year olds. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 40, 238-244.

Manes, F. (2014). *Usar el cerebro. Conocer nuestra mente para vivir mejor*. Buenos Aires: Planeta.

Marina, J.A. y Pellicer, C. (2015). *La inteligencia que aprende*. Madrid: Santillana.

Matthews, V. B., Aström, M. B., Chan, M. H. S., Bruce, C. R., Krabbe, K. S., Prelovsek, O. et al. (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, 1409-1418.

Middleton, L.E.; Barnes D.E.; Lui, L.Y. y Yaffe, K. (2010). Physical activity over the life course and its association with cognitive performance and impairment in old age. *J Am Geriatr Soc*. 58(7):1322–6.

Morales, J. (2004) Relación entre el desarrollo motor y el desarrollo intelectual: un estudio empírico. *Apunts: Educación Física y Deportes*, 77, 34-41.

Nichol, K.; Deeny, S.P.; Seif, J.; Camaclang, K. y Cotman CW. (2009) Exercise improves cognition and hippocampal plasticity in APOE epsilon4 mice. *Alzheimers Dement*, 5(4):287-94.

Ortiz, T. (2009) *Neurociencia y educación*. Barcelona: Alianza.

Padilla, C.; Pérez, L. Y Andrés, P. (2014) Chronic exercise keeps working memory and inhibitory capacities fit. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8:49.

Pedersen, B. K. (2009). The disease of physical inactivity – and the role of myokines in muscle–fat cross talk. *J Physiol*, 587(23), 5559-5568.

Podewils, L.J.; Guallar, E.; Kuller, L.H; Fried, L.P; Lopez, O.L.; Carlson, M. y Lyketsos, C.G. (2005) Physical activity, APOE genotype, and dementia risk: findings from the Cardiovascular Health Cognition Study. *Am J Epidemiol*, 161(7):639-51.

Posner, M. I.; Sandson, J.; Dhawan, M. y Shulman, G. L. (1989). Is word recognition automatic? A cognitive anatomical approach. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 50-60.

Posner, M. I. y Rothbart, M. K. (1991). Attentional mechanisms and conscious experience. En D. Milner y M. Rugg (Eds.), *The Neuropsychology of Consciousness* (pags. 91-112). New York. Academic Press.

Posner, M.I. y Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17, 75-79.

Scarmeas, N.; Luchsinger, J.A.; Schupf, N.; Brickman, A.M.; Cosentino, S.; Tang, M.X. y Stern, Y. (2009) Physical activity, diet, and risk of Alzheimer disease. *JAMA*, 302(6):627-37.

Shafer, W. E., y Armer, J. M. (1972) Athletes are not inferior students. In R. N. Singer (Ed.), *Readings in motor learning*. Philadelphia: Lea and Febiger, 102-111.

Shephard, R. J. (1997) Curricular physical activity and academic performance. *Pediatric Exercise Science*, 9, 113-126.

Symons, C. W., Cinelli, B., James, T. C., & Groff, P. (1997) Bridging student health risks and academic achievement through comprehensive school health programs. *Journal of School Health*, 67, 220-227.

Tang, Y. y Tang, R. (2015). Mindfulness Meditation — A New Preventive Intervention for ADHD. [en línea] [Disponible en <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/49032.pdf>] [Consulta 15 de Agosto de 2016]

Tomporowski, P. D.; Davis, C. L.; Miller, P. H. y Naglieri, J. A. (2008) Exercise and children's intelligence, cognition, and academic achievement. *Educational Psychology Review*, 20, 111-131.

Tudela, P. (1992). Atención, en J.L. Fernández Trespalacios y P. Tudela (Eds.) *Atención y Percepción*. Madrid: Alhambra. Cap. 4, pp. 119-162.

Trudeau, F. y Shephard, R. J. (2008) Physical education, school physical activity, school sports, and academic performance. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5, 10.

Wang, H.X.; Jin, Y.; Hendrie, H.C.; Liang, C.; Yang, L.; Cheng, Y. et al. (2013) Late life leisure activities and risk of cognitive decline. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 68(2):205-13.