



Modelado de aprendizaje computacional en neuropsicología del deporte: Relación entre actividad física y cognición en universitarios mexicanos

Modeling computational learning in sport neuropsychology: relationship between physical activity and cognition in Mexican university students

Autores

Erick Yael Fernández-Barradas ¹
Isidro Vargas-Moreno ¹
Héctor Gabriel Acosta-Mesa ²
Alma Gabriela Martínez-Moreno ¹
Socorro Herrera-Meza ³

¹ Universidad de Guadalajara, Instituto de Investigaciones en Comportamiento Alimentario y Nutrición (México)

² Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones en Inteligencia Artificial (México)

³ Universidad Veracruzana, Instituto de Investigaciones Psicológicas (México)

Autor de correspondencia:
Socorro Herrera Meza
soherrera@uv.mx

Cómo citar en APA

Fernández Barradas, E. Y., Vargas Moreno, I., Acosta Mesa, H. G., Martínez Moreno, A. G., & Herrera Meza, S. (2025). Modelado de aprendizaje computacional en neuropsicología del deporte: prospectiva de la relación actividad física y cognición. *Retos*, 67, 805-815. <https://doi.org/10.47197/retos.v67.111628>

Resumen

Introducción: La neuropsicología del deporte ha tomado interés en el desarrollo procesos cognitivos de orden superior llamados funciones ejecutivas, estos se encuentran implicados en el desarrollo de tareas complejas, capacidad de adaptación y salud mental; evidencia reciente sugiere que estos procesos pueden ser estimulados a través de la actividad física. Sin embargo, el análisis de la relación entre estas variables puede verse sesgado con la utilización de métodos estadísticos clásicos debido a distintos supuestos teóricos y a las condiciones naturales de la investigación, por ello, la utilización de otras herramientas de análisis podría ser funcional para el estudio de estos procesos.

Objetivo: Analizar la relación entre la actividad física y las funciones ejecutivas utilizando técnicas de inteligencia computacional.

Metodología: Estudio cuantitativo, no experimental y transversal con una muestra de 140 estudiantes universitarios divididos en grupos de actividad física baja (n=47), media (n=40) y alta (n=53). Se utilizó el Inventario Internacional de Actividad Física (IPAQ) y la Batería Neuropsicológica de Funcionamiento Ejecutivo (BANFE-II).

Resultados: Las técnicas de inteligencia computacional clasificaron el mejor rendimiento cognitivo con niveles más altos de actividad física en dos condiciones: 1) Perfil de desempeño cognitivo; 2) Puntuación total.

Discusión: Los hallazgos corroboran la relación teórica establecida en otras investigaciones sobre cognición y actividad física, sin embargo, difieren en resultados con las técnicas de estadística clásica.

Conclusiones: Los niveles de actividad física pueden determinar el desempeño cognitivo. Se muestra evidencias de la utilidad que la inteligencia computacional puede tener en la neuropsicología del deporte.

Palabras clave

Aprendizaje Computacional; Deporte; Cognición, Funciones Ejecutivas.

Abstract

Introduction: Sport neuropsychology has become interested in the development of superior cognitive processes known as executive functions, these are involved in the performing of complex tasks, adaptive ability and mental health; recent evidence suggests that these processes can be stimulated through physical activity. However, the analysis of the relationship between these variables may be biased with the use of classical statistical methods due to different theoretical assumptions and the conditions of the research, therefore, the use of other analytical tools could be functional for the study of these processes.

Objective: To analyze the relationship between physical activity and executive functions using computational intelligence techniques.

Methodology: Quantitative, non-experimental, cross-sectional study with a sample of 140 university students divided into groups of low (n=47), medium (n=40) and high (n=53) physical activity. The International Physical Activity Inventory (IPAQ) and the Neuropsychological Battery of Executive Functioning (BAN-FE-II) were used.

Results: Computational intelligence techniques classified better cognitive performance with higher levels of physical activity in two conditions: 1) Cognitive performance profile; 2) Total score.

Discussion: Findings corroborate theoretical relationship established in other studies on cognition and physical activity, however, they differ in results with classical statistical techniques. **Conclusions:** Physical activity levels can determine the cognitive performance. It shows evidence of the usefulness that computational intelligence can have in the neuropsychology of sport.

Keywords

Machine Learning, Sport, Cognition, Executive Functions.

Introducción

La neuropsicología del deporte representa un campo de investigación de reciente creación que en sus inicios se enfocó en el desarrollo, evaluación e intervención de procesos cerebrales relacionados con lesiones deportivas (Echemendía y Bauer, 2015). Sin embargo, recientemente dentro de esta disciplina también se ha tomado interés en el estudio de la relación que tiene la realización de actividad física con la mejora de la salud desde una perspectiva neuropsicológica, en donde se incluyen el desarrollo de procesos cognitivos de orden superior como las funciones ejecutivas, que dan sentido a la autorregulación emocional, a los procesos para planear o desarrollar tareas e incluso al rendimiento deportivo (Carbonell, et al., 2021; Álava, 2019).

Las funciones ejecutivas son un grupo de habilidades cognitivas que ayudan al ser humano a adaptarse con facilidad al entorno a través de la formulación de metas, planes y estrategias para resolver problemas de forma eficaz (Lezak, 1982). De acuerdo con Diamond (2013), estos procesos pueden ser entendidos de la siguiente manera:

1) Control Inhibitorio (CI): Habilidad para manejar los procesos atencionales, comportamientos, pensamientos y emociones propias que van a detener o “inhibir” respuestas automáticas. Este proceso ayuda a los individuos a detener las respuestas impulsivas para brindar una mejor adaptación.

2) Memoria de Trabajo (MT): Capacidad para mantener y procesar información que no se encuentra presente en un nivel sensorial (gusto, tacto, olfato, audición o visión), puede ser en modalidad verbal (hablar un idioma) o visoespacial (recordar movimientos o lugares en un determinado espacio). Esta función hace que las personas utilicen el conocimiento adquirido a través de experiencias personales para tomar mejores decisiones en el presente o futuro.

3) Flexibilidad Cognitiva (FC): Facilidad para cambiar de perspectiva espacial (cambio de espacio físico) o interpersonal (cambio al punto de vista de otros individuos) para poder enfrentar y solucionar un problema. Este proceso es el responsable de que los individuos cambien o modifiquen las estrategias de resolución de problemas que no funcionan.

Las funciones ejecutivas son esenciales para la salud física y mental, además contribuyen con el desarrollo cognitivo y social de las personas (Diamond, 2013; Gray-Burrows et al., 2019; Rosselli, et al., 2008). Por esta razón y con fines de contribuir con la salud en general, múltiples estudios han tenido como objetivo determinar qué puede incidir y mejorar el funcionamiento ejecutivo.

Ser físicamente activo y practicar deporte es uno de los hábitos que más contribuye con el estado de salud y el bienestar general de las personas (OMS, 2018), existen distintas formas de clasificar a este hábito, siendo la más común la intensidad con la que se realizan las actividades cotidianas, el ejercicio físico o la práctica deportiva, teniendo como resultado tres niveles de actividad física: 1) Baja; 2) Moderada y 3) Vigorosa (OMS, 2022). Cada nivel de actividad física genera distintos beneficios tanto físicos como psicológicos, incluyéndose aquí la disminución de estados de ansiedad (Morales-Beltrán, 2022), la capacidad para recuperarse de las demandas estresantes del día a día (Fernández-Barradas, et al., 2024) e incluso el desarrollo de algunos procesos cognitivos, particularmente las funciones ejecutivas (Hernández-Mendo, et al., 2019; Reloba, et al., 2016; Gallego-Zumaquero, et al., 2015); como el control inhibitorio, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva (Sánchez-Alcaraz, et al., 2020; Fernández-Cordero, 2015).

Pese a esto, las relaciones encontradas entre la actividad física y el funcionamiento ejecutivo suelen estar condicionadas por dos situaciones, la primera está en función de los tipos de práctica físico-deportiva, la intensidad de la misma, el tipo de deporte que se realice e incluso, a los beneficios físicos que se obtienen de la propia actividad física (Bracero-Malagón et al., 2022; Reigal, et al., 2020a; Reigal, et al., 2020b); mientras que la segunda tiene que ver con la evaluación de este tipo de procesos cognitivos, siendo las pruebas de ejecución máxima las ideales para la evaluación del funcionamiento ejecutivo, pero con la limitación del tiempo a invertir en cada evaluación (Lázaro et al., 2008), lo que conlleva a tener muestras pequeñas (Bzdok, et al., 2018; Reloba, et al., 2016; Martín-Martínez, et al., 2015) que a su vez limitan las inferencias que se puedan realizar utilizando métodos estadísticos clásicos.



Por lo general, en la psicología del deporte se recurre a métodos estadísticos clásicos como el análisis de correlación, análisis de regresión, e inclusive la aplicación de técnicas de análisis de varianza (ANOVA) para explicar relaciones entre variables propias de la psicología y características físicas del entorno deportivo (Cantón-Chirivella, 2016). Sin embargo, algunas veces estas técnicas pueden quedar limitadas por la utilización parámetros o el cumplimiento de supuestos estadísticos robustos (Bzdok, et al., 2018), que limitan a los datos y no permiten la detección de algunas características relevantes. Otra forma de analizar los datos, puede ser la aplicación de métodos de inteligencia artificial, como lo es el aprendizaje automático supervisado con técnicas de inteligencia computacional, este promueve que los datos expliquen la clasificación de ciertos grupos, a través de la identificación de características de mayor importancia para la predicción (Pineda, 2022).

Una de las técnicas más utilizadas en el aprendizaje automático supervisado son los árboles de decisión, los cuales son modelos intuitivos que permiten evidenciar la clasificación de grupos con base en decisiones simples y condicionales (Charbuty y Abdulazeez, 2021). En el campo de la neuropsicología y de las ciencias del deporte, se ha implementado la aplicación de árboles de decisión para la detección de problemas emocionales y de motivación (Kristjánsdóttir, et al., 2019), predicción de lesiones (Van Eetvelde, et al., 2021) y detección de factores de rendimiento (Richter, et al., 2021). La aplicación de estas herramientas de análisis de datos puede ser de gran utilidad para promover la obtención de información relevante para los deportistas, entrenadores y profesionales de la salud, esto coadyuva en la toma de decisiones y personalización de intervenciones psicológicas, que permitan una mejor comprensión de los factores que influyen en el rendimiento deportivo. Además, se vuelve una oportunidad para evidenciar la utilización que puede tener la inteligencia artificial en otros campos de la ciencia, como en la psicología y ciencias del deporte.

Por ello, el objetivo principal de este estudio fue analizar la relación entre los distintos indicadores de funcionamiento ejecutivo y los niveles de actividad física de una muestra de estudiantes universitarios, a través de la aplicación de árboles de decisión que evidencien los factores más relevantes de las funciones ejecutivas.

Método

Se llevó a cabo un estudio cuantitativo, no experimental, transversal con alcance correlacional-explicativo.

Participantes

Participaron en este estudio un total de 140 estudiantes universitarios (mujeres $n = 74$, hombres $n = 66$) provenientes de una universidad pública de México con edades oscilantes entre los 18 y 24 años ($M = 20.74$, $SD = 1.91$). Los participantes fueron seleccionados a través de un muestro no probabilístico por conveniencia; generándose tres grupos según el nivel de actividad física reportado en el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ), Grupo 1) Actividad Física Baja ($n = 47$); Grupo 2) Actividad Física Media ($n = 40$); y, Grupo 3) Actividad Física Alta ($n = 53$).

Se tuvo como criterio de inclusión: 1) Ser estudiante universitario; 2) estar inscrito en el semestre en el que se llevó a cabo el levantamiento de datos; 3) aceptar la participación con una carta de consentimiento informado. Como criterios de exclusión: 1) padecimiento de alguna enfermedad crónico-degenerativa; 2) tener un tratamiento psiquiátrico al momento del levantamiento de datos; 3) padecer alguna enfermedad crónico-degenerativa. Finalmente, como criterio de eliminación se consideró: 1) No finalizar alguna de las evaluaciones; 2) Solicitud de no continuar participando en el estudio.

Procedimiento

Esta investigación fue aprobada por un Comité de Ética en Investigación con registro: CONBIOÉTICA-30-CEI-006-20191210 y folio 202106, así mismo, los principios de la Declaración de Helsinki fueron tomados en cuenta en todo momento. Se realizaron pruebas piloto con 15 participantes para evaluar que los instrumentos utilizados fueran apropiados en distintos escenarios. Para tener acceso a la población, se solicitó autorización de la Dirección de Actividades Deportivas de la Universidad participante y se invitó a distintos estudiantes a formar parte del estudio.

Todos los universitarios que cumplieron con los criterios de inclusión y aceptaron participar en este estudio, firmaron una carta de consentimiento informado y proporcionaron datos sociodemográficos



como la edad, sexo, carrera académica, estatus laboral (en caso de que hubiese), lugar de origen y semestre académico.

Posterior a la firma de consentimiento informado, se calendarizó la aplicación de las distintas herramientas de evaluación. Las pruebas pertenecientes a la BANFE-II fueron aplicadas por especialistas dentro de las instalaciones universitarias en condiciones de espacio, iluminación y audición pertinentes, además, se estableció un ambiente de confidencialidad y duración controlada con cada participante, teniendo un promedio de aplicación de veinte minutos. Una vez respondidas las pruebas de funcionamiento ejecutivo, se aplicó el IPAQ-S.

Por último, habiendo concluido la investigación, se elaboró un informe para las autoridades correspondientes. Además, se contactó con los participantes que solicitaron sus resultados vía e-mail para generar un informe individual con la información obtenida.

Instrumento

Cuestionario Internacional de Actividad Física versión corta (IPAQ-S)

Cuestionario que consta de 7 preguntas que recogen información acerca de las actividades de mantenimiento del hogar, jardinería, ocupacionales, transporte, tiempo libre y actividades sedentarias. Evalúa tres características de la actividad física: 1) Intensidad (leve, moderada o vigorosa); 2) Frecuencia (días por semana); y 3) Duración (tiempo por día). La actividad se registra en METs (caminar = 3.3 METs, Actividad física moderada = 4 METs, Actividad física vigorosa = 8 METs), este cuestionario fue desarrollado en 12 países diferentes y cuenta con validación en México (Craig et al., 2003; Mantilla-Tolosa y Gómez-Conesa, 2007). Los MET's calculados en este estudio se utilizaron para generar las categorías de actividad física baja (AFB), media (AFM) y alta (AFA).

Batería Neuropsicológica de Funciones Ejecutivas (BANFE-II).

La BANFE fue diseñada, validada y estandarizada en México para participantes con edades entre 6 y 85 años (Lázaro, Ostrosky-Solís y Lozano, 2008). Contiene las pruebas más importantes a nivel internacional para la evaluación de las funciones ejecutivas, para esta investigación se utilizaron las siguientes pruebas:

1) Control Inhibitorio

1.1) Test de Stroop formas A y B: se utiliza una lámina integrada por columnas de seis palabras de nombres de colores cada una, planteando dos condiciones diferentes (palabras subrayadas y alternación de columnas). Evalúa la pronunciación correcta en cada una de las condiciones contemplando aciertos, errores y tiempo de ejecución.

2) Memoria de Trabajo

2.1) Señalamiento Autodirigido: La prueba se conforma de una lámina con figuras de objetos y animales. El objetivo es señalar con el dedo todas, sin omitir ni repetir ninguna. Se evalúan la cantidad de aciertos, el tiempo de ejecución y los errores cometidos.

2.2) Memoria de Trabajo Visoespacial: Utiliza la misma lámina del señalamiento autodirigido y evalúa la capacidad para mantener la identidad de objetos situados en un orden y espacio específico para que posteriormente el sujeto señale las figuras en el mismo orden en que fueron presentadas. Puntúa el número de intentos que se llevan a cabo durante la prueba y los errores cometidos en la misma.

3) Flexibilidad Cognitiva

3.1) Clasificación de Cartas de Wisconsin: Se le proporcionan al sujeto un grupo de 64 cartas con características particulares, las cuáles tiene que acomodar debajo de una de las cuatro cartas base que se presentan en una lámina de acuerdo con ciertos criterios. Evalúa la cantidad de aciertos, perseveraciones, perseveraciones diferidas, errores de mantenimiento y el tiempo efectuado durante la evaluación.

Para analizar los datos obtenidos con estas evaluaciones se utilizaron los valores numéricos de cada uno de los indicadores de las FE y el desempeño baremado en la BANFE-II, teniendo las categorías: a) Normal-Alto, b) Normal, c) Moderado-Bajo y, d) Bajo.

Análisis de datos

Para cumplir con el objetivo de este estudio, en primer momento se utilizó estadística clásica haciendo uso del Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS V.24). Para determinar la normalidad de los datos se utilizó la prueba Kolmogorov-Smirnov, obteniéndose una distribución no normal. Posterior a esto fueron empleadas las pruebas Kruskal-Wallis para comparaciones entre grupos y Rho de Spearman para la búsqueda de correlaciones entre actividad física y los indicadores de funcionamiento ejecutivo.

Posteriormente se implementaron modelos de predicción de aprendizaje computacional. En este caso fueron utilizados árboles de decisión en dos enfoques diferentes; el primero fue con base en variable cualitativas, asignando una categoría de desempeño para cada una de las variables evaluadas del funcionamiento ejecutivo, mientras que el segundo consistió en la utilización de las mismas variables bajo criterio numérico con la calificación obtenida en cada aspecto del desempeño neuropsicológico. Así mismo, se generaron cuatro diferentes ajustes para comparar la precisión entre modelos: 1) modelo general, con todas las variables obtenidas de los instrumentos utilizados; 2) memoria de trabajo; 3) flexibilidad cognitiva; 4) control inhibitorio. Todos los modelos fueron combinados con 6 métodos diferentes de validación, el primero de cross-validation con 10 folds; para los subsecuentes se modificó el porcentaje del conjunto de entrenamiento (70, 75, 80, 85 y 90%). Una vez obtenidos los ajustes de modelos, se identificaron las variables más relevantes de cada ajuste, y posteriormente con las variables más importante de cada sección se graficaron árboles de decisión. Este procedimiento se realizó con el software Weka (versión 3.8.1) y con la implementación del algoritmo J48 para árboles de decisión.

Resultados

Con la estadística clásica fue posible detectar diferencias estadísticamente significativas en el desempeño de las funciones ejecutivas al contrastar los tres grupos de actividad física (AFB, AFM, AFA). Dos de los indicadores fueron estadísticamente significativos en el caso de MT y FC ($p < .05$), ambas condiciones favorecieron a los grupos con más actividad física reportada (ver Tabla 1).

Tabla 1. Comparación del desempeño de las funciones ejecutivas en los grupos AFB, AFM y AFA, utilizando la prueba Kruskal-Wallis

Función Ejecutiva	Indicadores de desempeño cognitivo	Grupo	Rango promedio
Memoria de Trabajo	Aciertos señalamiento autodirigido	AFB	52.20
		AFM	80.14
		AFA	77.68
	Errores de orden de la memoria visoespacial	AFB	83.60
		AFM	60.65
		AFA	66.32
Flexibilidad Cognitiva	Aciertos Clasificación de Cartas	AFB	61.71
		AFM	64.41
		AFA	82.89
	Perseveraciones Diferidas Clasificación de Cartas	AFB	77.91
		AFM	78.50
		AFA	57.89

Nota: Sólo se muestran los indicadores que fueron estadísticamente significativos al comparar los tres grupos de actividad física.

Con la aplicación del aprendizaje computacional (ver Tabla 2), se encontró que el modelo con mejor ajuste obtuvo un 78.57% de precisión para clasificar las variables utilizando categorías (criterios de desempeño del CI, MT y FC), mostrando que el indicador más importante fueron los errores de la memoria visoespacial (EMV).

Al analizar por secciones se pudo identificar que, en la sección 1, la Memoria Trabajo con los aciertos del señalamiento autodirigido (SAA) obtienen un porcentaje de 38.09% de precisión desde una perspectiva cualitativa, desde lo cuantitativo se obtiene un 57.14% y se repite el indicador EMV como el más relevante. En la sección 2, las aproximación cualitativa y cuantitativa obtienen porcentajes de precisión similares, la primera con 57.14% mientras que la segunda con 64.28%, se puede observar que las

perseveraciones diferidas (CCPD) y los aciertos (CCA) son los indicadores más importantes. Finalmente, en la sección 3, el control inhibitorio obtiene un 35.71% de precisión desde lo cualitativo con los aciertos en el test de Stroop en la forma A (STAA) y con la aproximación cuantitativa se obtuvo un 42.85% con los errores del test de Stroop en su forma B (STBE). Es importante mencionar que los porcentajes de precisión más altos se obtienen cuando se utilizó el 90% de la base de datos en el modelo de entrenamiento y el 10% en el modelo de prueba.

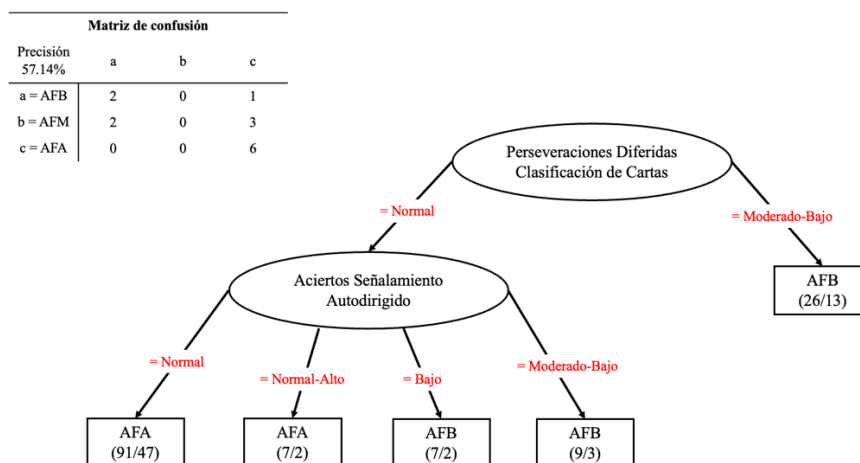
Tabla 2. Precisión de los ajustes del modelo de árbol de decisión

PRECISIÓN DE LOS AJUSTES DE MODELOS DE ÁRBOLES DE DECISIÓN										
AM	Variable	CV 10	Métodos de validación					1er VR	Variables relevantes	
			70-30	75-25	80-20	85-15	90-10		2da VR	3er VR
MG	CL	29.28	33.33	37.14	39.28	47.61	50	CCPD	SAA / STAE	STAA
	CT	48.57	40.47	48.57	64.28	61.9	78.57	MTVE	CCA	SAA/STBE
S1-MT	CL	34.28	38.09	37.14	32.14	33.33	35.71	SAA	-----	-----
	CT	52.14	52.38	52.14	53.57	47.61	57.14	MTVE	SAA	MTVSSM
S2-FC	CL	51.42	30.95	42.85	32.14	42.85	57.14	CCPD	CCP/CAA	CCT
	CT	37.85	35.71	42.85	46.42	42.85	64.28	CCA	CCP	CCEM/Genero
S3-CI	CL	32.14	30.95	28.57	28.57	23.8	35.71	STAA	STBT/Genero/STBE	STAT/STAE
	CT	35.71	23.8	20	28.57	38.09	42.85	STBE	STAA	STAT/STAE

Nota: AM: Ajuste de Modelos; MG: Modelo General; MT: Memoria de Trabajo; FC: Flexibilidad Cognitiva; CI: Control Inhibitorio; CL: Variable Cualitativa; CT: Variable Cuantitativa; VR: Variable Relevante; CV: cross validation; CCPD: Clasificación de Cartas Perseveración Diferida; SAA: Señalamiento Autodirigido Aciertos; STAE: Stroop A Errores; STAA: Stroop A Aciertos; MTVSE: Memoria de Trabajo Visoespacial Errores; MTVSSM: Memoria de Trabajo Visoespacial Secuencia Máxima; CCA: Clasificación de Cartas Aciertos; STBE: Stroop B Errores; CCP: Clasificación de Cartas Perseveraciones; CCT: Clasificación de Cartas Tiempo; CCEM: Clasificación de Cartas Errores Mantenimiento; STBT: Stroop B Tiempo; STAT: Stroop A Tiempo.

En cuanto a los diagramas de los árboles de decisión, se encuentra que cuando se ajusta el modelo considerando a las variables cualitativas obtenidas en cada sección, se obtiene una precisión del 57.14%, donde sólo se contemplan dos indicadores, las perseveraciones diferidas de la clasificación de cartas (CCPD) y los aciertos del señalamiento autodirigido (SAA), clasificando a los participantes que tienen un desempeño cognitivo moderado-bajo en CCPD con actividad física baja (AFB); los participantes que obtienen un desempeño normal en CCPD se clasifican con ayuda del SAA, donde un desempeño moderado-bajo o bajo predice a participantes con bajos niveles de actividad física, mientras que un desempeño normal o normal alto, es característica de quienes practican actividad física alta (ver Figura 1).

Figura 1. Árbol de decisión con variables cualitativas (Desempeño Cognitivo).

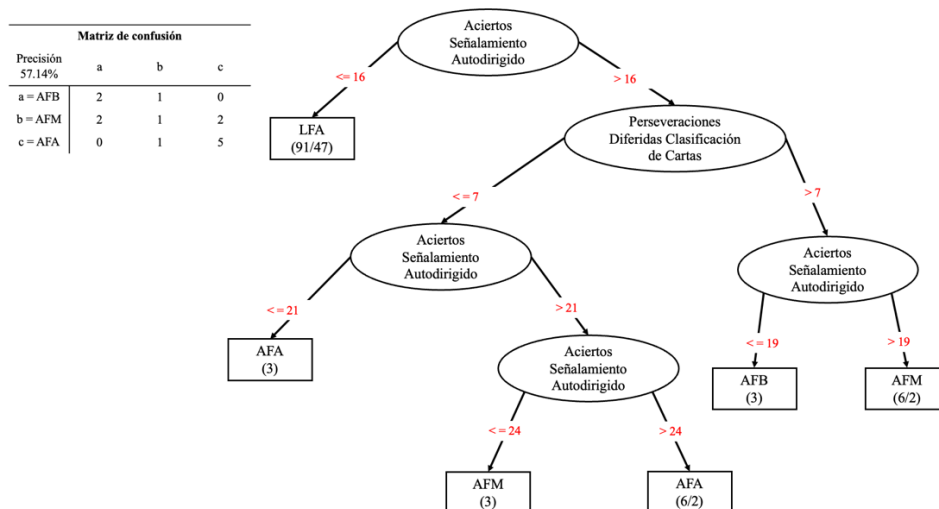


Nota: AFA: Actividad Física Alta; AFB: Actividad Física Baja

En el segundo árbol de decisión (Figura 2), se puede observar que cuando los participantes tienen un nivel bajo de actividad física, se caracterizan por tener un puntaje menor o igual a 16 aciertos en SAA, cuando tienen un puntaje mayor a este, se utiliza el puntaje de CCPD para continuar la clasificación, en donde obtener un resultado de 7 (CCPD) con menos de 19 aciertos en SAA también categoriza a los participantes en actividad física baja; cuando el puntaje en SAA es mayor a 19 y menor que 7 en CCPD,

se clasifica a los sujetos con actividad física media (AFM). Por último, cuando los participantes tienen menos de 7 CCPD y un puntaje mayor a 24 en SAA, se consideran con actividad física alta.

Figura 2. Árbol de decisión con variables cuantitativas (Puntuación Total).



Nota: AFA: Actividad Física Alta; AFM: Actividad Física Media; AFB: Actividad Física Baja

Discusión

El objetivo principal de este estudio fue analizar la relación entre los distintos indicadores de funcionamiento ejecutivo y los niveles de actividad física de una muestra de estudiantes universitarios con la utilización de técnicas de inteligencia computacional. Respecto a esto, los resultados de este estudio evidenciaron relaciones puntuales entre las variables de estudio, cumpliendo así con el objetivo planteado en esta investigación.

Los análisis mostraron una relación entre algunos de los indicadores de funciones ejecutivas (tiempo, aciertos, errores, etc.) con los niveles de actividad física. Mostrando un mejor desempeño cognitivo en quienes pertenecían al grupo de Actividad Física Alta (AFA). Esto coincide con lo planteado por algunos autores que consideran que altos niveles de actividad física, ejercicio físico o deporte pueden contribuir en el desarrollo y mejora de ciertas tareas cognitivas (Sánchez-Alcaraz et al., 2020; Reloba et al., 2016), investigaciones previas sugieren que cuando se tiene actividad física regular y con cierta intensidad, es posible tener un incremento del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) asociado a la neurogénesis, sinaptogénesis y por consiguiente con distintos procesos cognitivos (Walsh, et al, 2020). Además, estudios en neuroimágenes han evidenciado cambios en estructuras cerebrales como el hipocampo, cuerpo estriado dorsal, cuerpo calloso y materia gris en diversas cortezas cerebrales, en personas que realizan actividad física planificada con regularidad (Hernández-Mendo et al., 2019).

Aunque existe suficiente evidencia teórica que sustenta la relación entre los procesos cognitivos y la actividad física, en este estudio no se encontraron coeficientes de correlación con estadística clásica que aseveraran esta afirmación. Sin embargo, con la inteligencia computacional y los árboles de decisión, se logró clasificar a los participantes con un bajo desempeño en las pruebas de funcionamiento ejecutivo en el grupo de actividad física baja, al igual que categorizar a los sujetos que pertenecen al grupo de actividad física alta con un desempeño cognitivo normal o normal-alto, sin importar si se utilizaba como criterio el puntaje total (perspectiva cuantitativa) o el criterio de desempeño cognitivo (perspectiva cualitativa). Reafirmando el postulado que plantea que los procesos cognitivos, particularmente las funciones ejecutivas, guardan una relación importante con el hábito de ser físicamente activo.

Para lograr establecer esta relación, los supuestos de la estadística clásica mostraron limitaciones, mientras que, los árboles de decisión provenientes de la inteligencia computacional lo hicieron sin problema alguno. Este tipo de aproximación novedosa también ha sido utilizada en otros campos científicos, donde con ayuda de estas técnicas se logra distinguir entre tratamientos farmacológicos con efectos

similares y se brinda una oportunidad de profundizar el análisis de las relaciones entre variables biológicas y conductuales (Vargas-Moreno, et al., 2024), o en este caso, neuropsicológicas y de actividad física.

Los hallazgos de esta investigación ponen de manifiesto la utilidad que puede tener el aprendizaje automático y la inteligencia computacional para analizar relaciones entre variables de estudio, como un complemento para futuras investigaciones en la psicología y neuropsicología del deporte. Esto puede ayudar a los especialistas del campo para entender de forma más puntual los procesos relacionados al rendimiento deportivo, rendimiento mental y bienestar del deportista; generando así propuestas de intervención más específicas y personalizadas que contribuyan con una gestión más eficaz de los aspectos psicológicos en el campo de las ciencias del deporte (Richter, et al., 2021). Además, puede ser un punto de partida para analizar los procesos cognitivos, emocionales y conductuales que se relacionan con el aumento de la actividad física en diversas poblaciones y su posible impacto en la salud mental. Sin embargo, es importante tener en cuenta que no son la única herramienta disponible y que su eficacia dependerá de la naturaleza de los datos y de los objetivos específicos de la investigación o intervención neuropsicológica en el deporte (Charbuty y Abdulazeez, 2021).

Como limitación de este estudio se tiene en primera instancia a la evaluación del desempeño de los procesos cognitivos y las funciones ejecutivas, siendo esta una tarea complicada debido al costo y tiempo que implica cada evaluación, lo que conlleva a una limitación en el número de participantes en este tipo de investigaciones. Aunado a esto, es bien sabido que la actividad física presenta distintas características (frecuencia, duración, intensidad, etc.) y por lo tanto distintos beneficios en la población mundial, evaluarla a través de un cuestionario de autoinforme puede representar un sesgo de deseabilidad social en el cual todos los participantes ponderan altos niveles de actividad física o niveles saludables de la misma (Mella-Norambuena et al., 2019), debido a esta situación, en este estudio se optó por la creación de terciles con el puntaje total de MET's en vez de utilizar la clasificación propuesta por el cuestionario, buscando una aproximación que pudiera tomar en cuenta la cantidad total de actividad física y a través de la misma, analizar su relación con la salud cognitiva. Por último, utilizar inteligencia computacional (en este caso árboles de decisión) para analizar este tipo de problemas, puede tener complejidad cuando los diagramas obtenidos se desarrollan con múltiples ramas (Nodos), es decir, se hace difícil interpretar con tantas características. Además, su aceptación y validez dependen de una métrica que evalúa el número de casos clasificados correctamente (según lo planteado a nivel teórico), esperándose un porcentaje elevado en ciertas disciplinas científicas (física, matemática, química) y pudiendo tener porcentajes bajos en materia de ciencias de la salud, particularmente en psicología y ciencias sociales debido a la multicausalidad que existe en este campo.

Como fortalezas de esta investigación, en primer lugar, se presenta la utilización de una aproximación que puede fungir como complemento de la estadística clásica y que es capaz de detectar relaciones más estrechas entre variables de estudio, esto puede dar sustento al desarrollo de modelos teóricos que sean capaces de explicar procesos psicológicos en el deporte de manera más puntual y que podrían funcionar para optimizar el rendimiento deportivo. Como segunda fortaleza se encuentra que, pese a la dificultad que representa la evaluación de procesos cognitivos, en este estudio se alcanzaron un total de 140 participantes que además compartían características y distribuciones similares entre grupos, siendo esta una condición que permite la aplicación de ambas técnicas de análisis, fortaleciendo así la evidencia de la relación teórica entre las funciones ejecutivas y la actividad física. Finalmente, a través de la aplicación de las técnicas de inteligencia computacional se logra identificar algunos indicadores de las distintas pruebas para las funciones ejecutivas memoria de trabajo, control inhibitorio y flexibilidad cognitiva que podrían funcionar de forma más específica para analizar estos procesos superiores al pensamiento.

Se sugiere que para futuros estudios que pretendan analizar la relación entre estas variables, se opte por utilizar evaluaciones directas del nivel de actividad física/capacidad física a través de la aplicación de pruebas de rendimiento máximo o esfuerzo físico, esto con el objetivo de descartar el posible sesgo de deseabilidad social que presentan los cuestionarios sobre actividad física y además generando indicadores objetivos del nivel de actividad física que poseen los participantes. Aunado a esto, se propone utilizar menos pruebas para evaluar el FE o hacerlo en formatos digitales que puedan eliminar el posible error humano para calificar e interpretar el desempeño cognitivo de los participantes. Por último, hacer un seguimiento longitudinal sobre los participantes para analizar si las funciones ejecutivas reciben la estimulación o mejora derivado de una práctica deportiva en particular, de la modalidad competitiva o

si existen diferencias entre hombres y mujeres, además de contrastar las carreras académicas (en este tipo de muestras).

Conclusiones

Este estudio contribuye y aumenta la evidencia sobre la relación entre las funciones ejecutivas y la actividad física, siendo esta una relación positiva y directamente proporcional. Pese a que los métodos estadísticos clásicos no logran detectar lo mencionado anteriormente, las técnicas de árboles de decisión se mostraron como una herramienta confiable para clasificar el desempeño cognitivo a través de los distintos niveles de actividad física. Siendo este hallazgo un posible punto de partida para la implementación de técnicas de inteligencia computacional como una estrategia para complementar el análisis de algunas variables dentro de la psicología del deporte, con énfasis en la neuropsicología.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología por la beca al CVU 821866 y a los estudiantes que aceptaron participar en el estudio.

Referencias

- Álava, S. (2019). El cerebro en el deporte: cómo mejorar el rendimiento a través del entrenamiento en regulación emocional. *Revista de Nutrición Práctica* (23). https://www.nutricionpractica.org/wp-content/uploads/2022/10/JINP_Revista_2019.pdf#page=22
- Bracero-Malagón, J., Juárez-Ruiz De Mier, R., Reigal, R. E., Caballero-Cerbán, M., Hernández-Mendo, A., y Morales-Sánchez, V. (2022). Logical Intelligence and Mathematical Competence Are Determined by Physical Fitness in a Sample of School Children. *Frontiers in Psychology*, 13, 833844. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.833844>
- Bzdok, D., Altman, N., y Krzywinski, M. (2018). Statistics versus machine learning. *Nature Methods*, 15(4), 233–234. <https://doi.org/10.1038/nmeth.4642>
- Cantón-Chirivella, E. (2016). La especialidad profesional en Psicología del Deporte. *Revista de Psicología Aplicada al Deporte y el Ejercicio Físico*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.5093/rpadef2016a2>
- Carbonell, N., Hernández-Prados, M., Sarmiento, B., González, E., Aguaded, M. y Álvarez, J. (2021) Funciones ejecutivas y rendimiento futbolístico. Diseño y evaluación de un programa de intervención. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 42, Pp. 306-315. <https://doi.org/10.47197/retos.v42i0.86684>
- Charbuty, B., y Abdulazeez, A. (2021). Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01), 20–28. <https://doi.org/10.38094/jastt20165>
- Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjostrom, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F., y Oja, P. (2003). International Physical Activity Questionnaire: 12-Country Reliability and Validity: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(8), 1381–1395. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB>
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Echemendia, R. y Bauer, R. (2015) Professional Ethics in Sports Neuropsychology. *Psychol. Inj. and Law* (8) Pp. 289-299. <https://doi.org/10.1007/s12207-015-9241-3>
- Fernández-Barradas, E.-Y., Marván-Garduño, M.-L., Cibrián-Llenderal, T., Reynoso-Sánchez, F., y Herrera-Meza, S. (2024). Physical activity and engagement coping: A key for stress-recovery in mexican university students. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 18(1), 165-182. <https://doi.org/10.1123/jcsp.2022-0070>
- Fernández-Cordero, E. (2015). Caracterización de la Flexibilidad Cognitiva en Gimnastas Rítmicas Escolares en Granma. *OLIMPIA: Revista de la Facultad de Cultura Física de Granma*, 12(28), 22–32. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6210434>

- Gallego-Zumaquero, V., Hernández-Mendo, A., Reigal, R. E., y Juárez-Ruiz, R. (2015). Efectos de la actividad física sobre el funcionamiento cognitivo en preadolescentes. *Apuntes de Educación Física y Deportes*, 121, 20–27. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2015/3\).121.03](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2015/3).121.03)
- Gray-Burrows, K., Taylor, N., O'Connor, D., Sutherland, E., Stoet, G., y Conner, M. (2019). A systematic review and meta-analysis of the executive function-health behaviour relationship. *Health Psychology and Behavioral Medicine*, 7(1), 253–268. <https://doi.org/10.1080/21642850.2019.1637740>
- Hernández-Mendo, A., Reigal, R. E., López-Walle, J. M., Serpa, S., Samdal, O., Morales-Sánchez, V., Juárez-Ruiz De Mier, R., Tristán-Rodríguez, J. L., Rosado, A. F., y Falco, C. (2019). Physical Activity, Sports Practice, and Cognitive Functioning: The Current Research Status. *Frontiers in Psychology*, 10, 2658. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02658>
- Kristjánsdóttir, H., Jóhannsdóttir, K. R., Pic, M., y Saavedra, J. M. (2019). Psychological characteristics in women football players: Skills, mental toughness, and anxiety. *Scandinavian Journal of Psychology*, 60(6), 609–615. <https://doi.org/10.1111/sjop.12571>
- Lázaro, J. C. F., Ostrosky-Solís, F., y Lozano, A. (2008). Batería de Funciones Frontales y Ejecutivas: Presentación. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 141–158.
- Lezak, M. D. (1982). The Problem of Assessing Executive Functions. *International Journal of Psychology*, 17(1–4), 281–297. <https://doi.org/10.1080/00207598208247445>
- Mantilla-Tolosa, S. C., y Gómez-Conesa, A. (2007). El Cuestionario Internacional de Actividad Física. Un instrumento adecuado en el seguimiento de la actividad física poblacional. *Revista Iberoamericana de Fisioterapia y Kinesiología*, 10(1), 48–52. [https://doi.org/10.1016/S1138-6045\(07\)73665-1](https://doi.org/10.1016/S1138-6045(07)73665-1)
- Martín-Martínez, I., Chiroso, L. J., Reigal, R. E., Hernández-Mendo, A., Juárez-Ruiz De Mier, R., y Guisado, R. (2015). Efectos de la actividad física sobre las funciones ejecutivas en una muestra de adolescentes. *Anales de Psicología*, 31(3), 962. <https://doi.org/10.6018/analesps.31.3.171601>
- Mella-Norambuena, J., Celis, C., Sáez-Delgado, F., Aeloiza, A., Echeverría, C., Nazar, G., y Petermann-Rocha, F. (2019). Revisión sistemática de práctica de actividad física en estudiantes universitarios. *Revista Iberoamericana de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 8(2), 37. <https://doi.org/10.24310/riccafd.2019.v8i2.6452>
- Morales-Beltrán, R.A., Hernández-Cruz, G., González-Fimbres, R.A., Rangel-Colmenero, B.R., Zazueta-Beltrán, D.K., y Reynoso-Sánchez, L.F. (2022). La actividad física como moderador en la ansiedad asociada al COVID-19 en estudiantes universitarios. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, 45, 796–806. <https://doi.org/10.47197/retos.v45i0.92974>
- OMS. (2018). *Global action plan on physical activity 2018–2030: More active people for a healthier world*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272722>
- OMS. (2022). *Actividad Física*. who.int. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- Pineda, J. M. (2022). Modelos predictivos en salud basados en aprendizaje de maquina (machine learning). *Revista Médica Clínica Las Condes*, 33(6), 583–590. <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2022.11.002>
- Reigal, R. E., Moral-Campillo, L., Mier, R. J.-R. D., Morillo-Baro, J. P., Morales-Sánchez, V., Pastrana, J. L., y Hernández-Mendo, A. (2020a). Physical Fitness Level Is Related to Attention and Concentration in Adolescents. *Frontiers in Psychology*, 11, 110. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00110>
- Reigal, R. E., Moral-Campillo, L., Morillo-Baro, J. P., Juárez-Ruiz De Mier, R., Hernández-Mendo, A., y Morales-Sánchez, V. (2020b). Physical Exercise, Fitness, Cognitive Functioning, and Psychosocial Variables in an Adolescent Sample. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3), 1100. <https://doi.org/10.3390/ijerph17031100>
- Reloba, S., Chiroso, L. J., y Reigal, R. E. (2016). Relación entre actividad física, procesos cognitivos y rendimiento académico de escolares: Revisión de la literatura actual. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*, 9(4), 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2015.05.008>
- Richter, C., O'Reilly, M., y Delahunt, E. (2021). Machine learning in sports science: Challenges and opportunities. *Sports Biomechanics*, 1–7. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1910334>
- Rosselli, M., Jurado, M. B., y Matute, E. (2008). Las Funciones Ejecutivas a través de la Vida. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*, 8(1), 23–46. <http://revistaneurociencias.com/index.php/RNNN/article/view/218>



- Sánchez-Alcaraz, B. J., Espinosa, M., Asencio, M. A., Hellín, M., Courel-Ibáñez, J., y Sánchez-Pay, A. (2020). Relación entre las funciones ejecutivas y el nivel de actividad física en estudiantes de la ESO y Bachillerato. *Ágora para la Educación Física y el Deporte*, 22, 64–84. <https://doi.org/10.24197/aefd.0.2020.64-84>
- Vargas-Moreno, I., Acosta-Mesa, H., Rodríguez-Landa, J., Avendaño-Garrido, M., Fernández-Demenehi, R. y Herrera-Meza, S. (2024) An Alternative Analysis of Computational Learning within Behavioral Neuropharmacology in an Experimental Anxiety Model Investigation. *Mathematical and Computational Applications*, 29 (76). <https://doi.org/10.3390/mca29050076>
- Van Eetvelde, H., Mendonça, L. D., Ley, C., Seil, R., y Tischer, T. (2021). Machine learning methods in sport injury prediction and prevention: A systematic review. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40634-021-00346-x>
- Walsh, E., Smit, L., Northey, J., Rattray, B. y Cherbuin, N. (2020) Towards an understanding of the physical activity-BDNF-cognition triumvirate: A review of associations and dosage. *Aging Research Reviews* (60). <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101044>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Erick Yael Fernández Barradas
Isidro Vargas Moreno
Héctor Gabriel Acosta Mesa
Alma Gabriela Martínez Moreno
Socorro Herrera Meza

erickfeba@hotmail.com
isvamo94@hotmail.com
heacosta@uv.mx
alma.martinez@cusur.udg.mx
soherrera@uv.mx

Autor/Traductor
Autor
Autor
Autora
Autora de Correspondencia