

Investigación
Neuroeducativa

Intervención de actividad física enriquecida cognitivamente (AFEC) y evolución de indicadores conductuales asociados a las funciones ejecutivas en personas con alteraciones neurológicas

Un estudio observacional longitudinal

María del Carmen González-André^{1*}, Sergio Moneo-Benítez^{2*},
Gabriel Díaz³, Edith Salazar⁴, Guillermo Isaac González-Rodríguez⁵

*Correspondencia

Sergio Moneo-Benítez.
sergiomoneo@ub.edu
María del Carmen González-André.
mariadelcarmen.gonzalez@urv.cat

Citación

MC González-André MC, Moneo-Benítez S, Díaz G, Salazar E, González-Rodríguez GI. Intervención de actividad física enriquecida cognitivamente (AFEC) y evolución de indicadores conductuales asociados a las funciones ejecutivas en personas con alteraciones neurológicas. Un estudio observacional longitudinal. JONED. Journal of Neuroeducation. 2026; 7(1): 50-64. doi: 10.1344/joned.v7i1.53954

Fecha de recepción:
18/2/2026

Fecha de aceptación:
20/5/2026

Fecha de publicación:
15/7/2026

Conflicto de intereses

Los autoras declaran la ausencia de conflicto de interés derivado de este trabajo.

Editora

Laia Lluch Molins (Universitat de Barcelona, España)

Revisores

Xitlali Torres-Aguilar, Alison
Barbosa de Oliveira

Derechos de autor

© María del Carmen González-André, Sergio Moneo-Benítez, Gabriel Díaz, Edith Salazar, Guillermo Isaac González-Rodríguez, 2026

Esta publicación está sujeta a la Licencia Internacional Pública de Atribución/Reconocimiento-NoComercial 4.0 de Creative Commons.



¹ Universitat Rovira i Virgili; mariadelcarmen.gonzalez@urv.cat;  0009-0000-3821-0992

² Universitat de Barcelona; sergiomoneo@ub.edu;  0000-0002-6934-0578

³ Universitat Rovira i Virgili; gdiaz.ef@ub.edu;  0000-0003-1602-419X

⁴ Universidad del Valle de Atemajac; edit.salazar@univa.mx;  0009-0003-4723-4461

⁵ Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez; guillermo.gonzalez@zapopan.tecmm.edu.mx;  0000-0002-4584-1773

Resumen

El presente estudio describe la evolución de indicadores conductuales asociados a las funciones ejecutivas (FE) en estudiantes con alteraciones neurológicas a lo largo de una intervención de Actividad Física Enriquecida Cognitivamente (AFEC) desarrollada en un centro educativo especializado. Se empleó un diseño observacional longitudinal, orientado a registrar y analizar la evolución de los indicadores de desempeño y participación durante un periodo de ocho meses. La intervención se estructuró en tres sesiones semanales de 30 a 45 minutos, estructuradas en torno a dominios cognitivos (memoria, lenguaje, razonamiento lógico y matemáticas). Los datos se obtuvieron a partir de registros sistemáticos realizados por el profesorado, que permitieron analizar tendencias descriptivas y cambios significativos en el tiempo. Se identificó una progresiva mejora en el rendimiento observacional, especialmente en los dominios de memoria y razonamiento lógico, junto con una disminución sostenida de las categorías “no contesta” y “sin evaluar”. Asimismo, se observó una mayor implicación emocional y motivacional, reflejada en una mejor adherencia a las sesiones. Estos hallazgos sugieren una evolución positiva en los indicadores conductuales vinculados a las FE, y respaldan la pertinencia educativa y terapéutica de programas motrices con carga cognitiva adaptada al perfil neuroevolutivo de los participantes. Se discuten las implicaciones metodológicas y pedagógicas del enfoque AFEC y se recomienda su replicación en estudios controlados para evaluar su eficacia y sostenibilidad a largo plazo.

Palabras clave: actividad física; funciones ejecutivas; neurodesarrollo; intervención cognitiva; neuroplasticidad; aprendizaje; doble tarea motriz-cognitiva.

Resum

Aquest estudi descriu l'evolució d'indicadors conductuals associats a les funcions executives (FE) en estudiants amb alteracions neurològiques al llarg d'una intervenció d'Activitat Física Enriquida Cognitivament (AFEC) desenvolupada en un centre educatiu especialitzat. S'hi va emprar un disseny observacional longitudinal orientat a registrar i analitzar l'evolució dels indicadors de rendiment i participació durant un període de vuit mesos. La intervenció es va estructurar en tres sessions setmanals de 30 a 45 minuts, organitzades al voltant de diversos dominis cognitius (memòria, llenguatge, raonament lògic i matemàtiques). Les dades es van obtenir a partir de registres sistemàtics realitzats pel professorat, els quals van permetre analitzar tendències descriptives i canvis significatius al llarg del temps. Es va identificar una millora progressiva en el rendiment observacional, especialment en els dominis de memòria i raonament lògic, juntament amb una disminució sostinguda de les categories "no contesta" i "sense avaluar". Així mateix, es va observar més implicació emocional i motivacional, reflectida en una millor adherència a les sessions. Aquests resultats suggereixen una evolució positiva dels indicadors conductuals vinculats a les FE i reforcen la rellevància educativa i terapèutica de programes motrius amb càrrega cognitiva adaptada al perfil neuroevolutiu dels participants. Finalment, es discuteixen les implicacions metodològiques i pedagògiques de l'enfocament AFEC i se'n recomana la replicació en estudis controlats per tal d'avaluar-ne l'eficàcia i sostenibilitat a llarg termini.

Paraules clau: activitat física; funcions executives; neurodesenvolupament; intervenció cognitiva; neuroplasticitat; aprenentatge; doble tasca motriu-cognitiva.

Abstract

The present study describes the evolution of behavioral indicators associated with executive functions (EF) in students with neurological disorders throughout a cognitively enriched physical activity (CEPA) intervention implemented in a specialized educational center. A longitudinal observational design was employed to record and analyze the progression of performance and participation indicators over an eight-month period. The intervention consisted of three weekly sessions lasting 30 to 45 minutes, structured around cognitive domains (memory, language, logical reasoning, and mathematics). Data were obtained from systematic records maintained by the teaching staff, which enabled the analysis of descriptive trends and significant changes over time. A progressive improvement in observational performance was identified, particularly in the domains of memory and logical reasoning, along with a sustained decrease in the categories "no response" and "not assessed." Furthermore, greater emotional and motivational engagement was observed, reflected in improved adherence to the sessions. These findings suggest a positive evolution in behavioral indicators linked to EF and support the educational and therapeutic relevance of motor programs with cognitive load adapted to the neurodevelopmental profile of participants. Methodological and pedagogical implications of the CEPA approach are discussed, and its replication in controlled studies is recommended to assess its effectiveness and long-term sustainability.

Keywords: Physical activity; Executive functions; Neurodevelopment; Cognitive intervention; Neuroplasticity; Learning; Dual-task training.

Introducción

Las funciones ejecutivas (FE) son procesos cognitivos de alto nivel que permiten planificar, regular y controlar la conducta orientada a metas. Estas funciones —entre ellas la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio— resultan esenciales para la autorregulación, el aprendizaje y la adaptación al entorno. En personas con alteraciones neurológicas, las FE suelen encontrarse afectadas en distintos grados, lo que puede limitar su autonomía y participación social.

Diversos estudios han reconocido la relación entre la actividad física y el desarrollo cognitivo, especialmente cuando las tareas motrices incorporan componentes cognitivos. Este enfoque, conocido como Actividad Física Enriquecida Cognitivamente (AFEC), integra demandas motoras y cognitivas en contextos educativos y clínicos, favoreciendo el compromiso atencional, la resolución de problemas y la memoria operativa en entornos de aprendizaje significativo^{1,2}.

La AFEC se entiende como una práctica motriz que combina la ejecución física con exigencias mentales simultáneas, generando una doble estimulación (motora y cognitiva) que promueve la participación activa del estudiante y la implicación emocional en la tarea. Desde esta perspectiva, se han diseñado intervenciones adaptadas a diferentes perfiles evolutivos, con actividades orientadas a estimular dominios como la memoria, el lenguaje, la lógica y las matemáticas^{4,11}.

El presente trabajo forma parte de una línea de investigación más amplia que examina el potencial educativo y terapéutico de la AFEC. En este artículo se presenta únicamente el estudio observacional longitudinal, basado en registros conductuales realizados durante la implementación del programa en un centro educativo especializado. No se aplicaron pruebas estandarizadas, ya que no correspondían al enfoque observacional del presente estudio. Estas pruebas forman parte de un estudio complementario dentro de la misma línea de investigación.

El objetivo fue describir la evolución de indicadores conductuales asociados a las FE y explorar tendencias observacionales de mejora vinculadas a la participación sostenida en las sesiones de AFEC. A partir del seguimiento sistemático de las respuestas durante un periodo de ocho meses, se buscó identificar patrones de desempeño y participación relacio-

nados con la constancia, la adecuación pedagógica y el entorno emocional.

El estudio aporta evidencia descriptiva sobre la viabilidad y el valor pedagógico de la AFEC como herramienta integradora en contextos educativos especializados, destacando su potencial para promover aprendizajes funcionales y experiencias de inclusión en personas con diversidad funcional.

Desde la perspectiva de la neuroeducación, la AFEC permite vincular movimiento, atención, emoción y toma de decisiones en situaciones auténticas de aprendizaje, generando activación conjunta de redes sensoriomotoras y ejecutivas. Este enfoque resulta especialmente pertinente en alumnos con alteraciones neurológicas, cuya participación y autorregulación dependen en gran parte de estímulos multimodales y experiencias significativas. La presente investigación pretende aportar evidencia ecológica sobre esta interacción motriz-cognitiva en un entorno educativo real.

Marco teórico

El creciente interés por los efectos de la actividad física en el rendimiento cognitivo ha favorecido la consolidación de un cuerpo teórico que vincula movimiento, desarrollo neurológico y aprendizaje. Numerosos estudios han confirmado que la práctica sistemática de actividad física no solo mejora la condición fisiológica, sino que también favorece el funcionamiento de estructuras cerebrales implicadas en la autorregulación, la atención y la planificación, especialmente en población infantil y adolescente^{1,2}. Esta evidencia ha sido reforzada por hallazgos neurobiológicos que destacan cómo el ejercicio físico promueve la liberación de factores neurotróficos, la neurogénesis y la conectividad sináptica, procesos todos ellos asociados a la plasticidad cerebral³.

En este contexto, ha ganado relevancia una categoría metodológica específica: la actividad física enriquecida cognitivamente (AFEC). Este enfoque no se limita a la ejecución de tareas motrices repetitivas o aeróbicas, sino que incorpora de manera intencionada demandas cognitivas integradas en la estructura misma de la actividad física. Dichas demandas pueden implicar el uso de la memoria operativa, la toma de decisiones en tiempo real, el control inhibitorio o la flexibilidad cognitiva, generando lo que⁴ define como “doble carga funcional”. En este tipo de

tareas, el componente motor y el componente cognitivo interactúan en un mismo plano de ejecución, promoviendo la activación simultánea de la corteza motora y del córtex prefrontal dorsolateral, lo cual favorece el desarrollo de las funciones ejecutivas^{5,6}. Esta doble estimulación es clave para consolidar aprendizajes funcionales. Hillman et al.² demostraron que actividades físicas estructuradas con alto contenido cognitivo provocan un mayor reclutamiento de redes neuronales asociadas al control ejecutivo que aquellas sin dicho componente. Asimismo, Mandolesi et al.⁵ identifican que la implicación de tareas cognitivas complejas durante el movimiento intensifica la plasticidad sináptica en regiones frontales y parietales. Así, lo que convierte una práctica motriz en una intervención AFEC no es su intensidad ni duración exclusivamente, sino su diseño pedagógico orientado a generar retos mentales adaptados a la edad, nivel madurativo y contexto funcional del participante⁷.

Actividad física y funciones ejecutivas

Las funciones ejecutivas (FE) comprenden un conjunto de procesos cognitivos de alto nivel —como la planificación, el control inhibitorio, la memoria de trabajo o la flexibilidad mental— que permiten la regulación voluntaria de la conducta orientada a metas⁸. Estas funciones son especialmente críticas durante la edad escolar, ya que se relacionan directamente con el rendimiento académico, la autorregulación emocional y la capacidad para resolver problemas en contextos sociales⁹.

En este sentido, múltiples investigaciones han constatado que la práctica regular de ejercicio físico puede tener efectos positivos sobre las FE, particularmente cuando se estructura en torno a tareas que demandan procesamiento cognitivo. Singh et al.¹⁰, en una revisión sistemática, afirman que los mayores beneficios se obtienen cuando las actividades físicas incorporan componentes atencionales, emocionales y sociales, es decir, cuando operan bajo principios similares a los de la AFEC⁶.

En línea con esta perspectiva, diversos estudios han evidenciado que la práctica de actividad física estructurada con componentes cognitivos puede llegar a mejorar de una forma significativa las funciones ejecutivas en la población escolar. Por ejemplo, investigaciones recientes en neuroeducación han mostrado que las actividades físicas diseñadas

con una elevada carga cognitiva favorecen la activación de procesos ejecutivos —como la memoria de trabajo, la inhibición y la flexibilidad cognitiva— al integrar movimiento, atención y toma de decisiones en un mismo marco pedagógico⁶. Estos hallazgos refuerzan la idea de que el diseño pedagógico de las tareas motrices, más allá de su intensidad, es clave para activar procesos de autorregulación y planificación en contextos educativos.

Fundamentos y aplicaciones de la AFEC

La AFEC promueve una interacción directa entre los sistemas sensoriomotor y ejecutivo, integrando el procesamiento perceptivo, la anticipación, la memoria operativa y la toma de decisiones en un mismo acto motor. Esta integración ha permitido el desarrollo de programas basados en juegos con reglas cambiantes, dinámicas de cooperación-competencia, actividades de resolución de problemas motores o circuitos con consignas impredecibles¹¹.

Una reciente revisión de Guillem⁶ concluye que las intervenciones AFEC generan mejoras significativamente superiores en tareas de flexibilidad cognitiva ($d=0.72$), fluidez verbal ($d=0.89$) y memoria de trabajo ($d=0.64$) frente a intervenciones físicas sin carga cognitiva. Estos hallazgos confirman que el valor añadido de la AFEC reside en su potencial para modular la activación cerebral mediante la exigencia de respuestas adaptativas, lo que resulta especialmente útil en contextos escolares o clínicos.

Edad escolar, plasticidad cerebral y oportunidad de intervención

La infancia y la adolescencia representan ventanas críticas para la estimulación de las funciones ejecutivas debido a la alta plasticidad cortical. En estas etapas, el córtex prefrontal aún se encuentra en proceso de maduración, lo que permite una mayor receptividad a experiencias de aprendizaje multisensorial y motriz¹². La AFEC, al articular exigencias cognitivas y físicas, puede actuar como un catalizador del desarrollo ejecutivo, optimizando los procesos de automatización, generalización y transferencia del aprendizaje⁷.

En el ámbito educativo, estas intervenciones permiten no solo una mejora en los dominios cognitivos clásicos (atención, memoria, razonamiento), sino también una mejor adaptación emocional y una reducción de las conductas disruptivas, tal como

reflejan estudios recientes aplicados en centros escolares).

Aplicación en personas con discapacidad o alteraciones neurológicas

Las evidencias disponibles indican que la AFEC puede tener un impacto positivo y representativo en personas con diversidad funcional. En niños con trastornos del espectro autista (TEA), TDAH, trastorno de la comunicación social (TCS) o trastorno pragmático de la comunicación, o síndrome de Down, las funciones ejecutivas suelen estar comprometidas, lo que dificulta el acceso al aprendizaje escolar y la participación social. Intervenciones que integran movimiento y estimulación cognitiva han demostrado mejorar la inhibición, la atención sostenida y la planificación en este tipo de poblaciones^{13, 14}.

En la misma línea, investigaciones actuales sobre intervención educativa en contextos de diversidad funcional subrayan que los entornos de aprendizaje enriquecidos y multimodales pueden potenciar el control atencional, la implicación del alumnado y la calidad de los procesos cognitivos, especialmente cuando se adaptan a las necesidades específicas de cada grupo¹⁵. Asimismo, Vega y González¹⁴ han documentado un aumento en la motivación, implicación emocional y rendimiento académico en escolares con trisomía 21 tras participar en sesiones regulares de actividad física con componente cognitivo.

En adultos con daño neurológico, la evidencia sugiere que la AFEC puede facilitar la reorganización funcional de redes cerebrales afectadas, potenciando procesos de compensación ejecutiva, especialmente cuando se acompaña de seguimiento psicoeducativo¹.

Vinculación con el diseño del estudio

Los fundamentos teóricos expuestos sustentan el enfoque metodológico de la presente investigación. El uso de un diseño observacional longitudinal permite describir la evolución y las tendencias de desempeño en dominios ejecutivos específicos a lo largo del tiempo, sin pretender establecer relaciones causales.

La estructuración de las tareas en bloques funcionales, matemáticos, lingüísticos, lógico-razonados y memorísticos, implementada dentro del marco de la Actividad Física Enriquecida Cognitivamente (AFEC), se alinea con las recomendaciones actuales sobre

intervención cognitivo-motriz en contextos educativos especializados.

Asimismo, la adaptación progresiva de las demandas cognitivas según el grupo funcional, recogida en el protocolo de intervención, favoreció la observación de respuestas diferenciadas de acuerdo con los distintos perfiles de desarrollo, en concordancia con el modelo de ajuste evolutivo de las funciones ejecutivas propuesto por Best y Miller⁷.

Marco neuroeducativo de la intervención

La intervención AFEC se fundamenta en principios de neuroeducación que explican cómo la combinación simultánea de tareas motrices y cognitivas estimula procesos ejecutivos de orden superior. La doble carga funcional propuesta por Pesce⁴ activa sistemas frontoparietales asociados a la memoria de trabajo, la inhibición y la flexibilidad cognitiva, favoreciendo la reorganización funcional descrita en estudios sobre neuroplasticidad motriz-cognitiva^{1, 5}. La participación activa y emocionalmente significativa incrementa la eficiencia en los procesos atencionales y en la automatización de respuestas¹². Bajo este marco, el presente estudio observa la evolución de indicadores conductuales que reflejan activación ejecutiva en un contexto ecológico real, alineando la práctica corporal con los principios neurocognitivos que sustentan el aprendizaje significativo.

Materiales y métodos

Diseño y enfoque

El presente estudio se inscribió en el paradigma empírico-analítico, también denominado como positivista, el cual se caracteriza por la búsqueda de objetividad, sistematicidad y replicabilidad en el proceso de investigación. Este enfoque permitió observar, registrar y analizar de manera estructurada las respuestas cognitivas y conductuales de los participantes durante una intervención educativa basada en Actividad Física Enriquecida Cognitivamente (AFEC).

Desde una perspectiva metodológica, se adoptó un diseño observacional longitudinal de tipo descriptivo, centrado en el análisis de las respuestas emitidas por los alumnos en situaciones reales de intervención. Este tipo de diseño resulta especialmente pertinente en el ámbito educativo, donde el comportamiento y la evolución de los aprendizajes se manifiestan en contextos dinámicos y comple-

jos. Tal como señalan Hernández et al.¹⁶, los estudios descriptivos permiten “especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis”^{16, p. 92}, y son fundamentales para generar conocimiento aplicado en escenarios pedagógicos reales.

La elección de este enfoque respondió a la necesidad de comprender la evolución de las respuestas cognitivas y emocionales asociadas a la participación regular en actividades motrices con carga cognitiva, en población con alteraciones neurológicas. En lugar de aplicar instrumentos estandarizados, se utilizó un sistema de registro sistemático elaborado por el equipo docente, que permitió documentar longitudinalmente la evolución de los indicadores de desempeño en los dominios de memoria, lenguaje, lógica y matemáticas.

El estudio se desarrolló bajo este enfoque observacional longitudinal, con recolección de registros sistemáticos durante ocho meses (de marzo a noviembre de 2023) en el Centro Albatros de Colima, México, en el marco de las sesiones educativas regulares. La investigación contó con la aprobación del Comité de Bioética de la Universitat de Barcelona (dictamen favorable emitido el 8 de septiembre de 2023) y del Comité de Ética de la Universidad de Colima (dictamen en proceso de registro), y se llevó a cabo conforme a los principios éticos establecidos por ambas instituciones.

En relación con la protección de datos personales, se garantizó el cumplimiento de la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares de México (vigente desde 2010 y con reformas aplicables en 2023), que regula el tratamiento legítimo, controlado e informado de los datos personales en manos de entidades privadas, asegurando la privacidad y el derecho a la autodeterminación informativa. Asimismo, se respetó la normativa europea vigente, en particular el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) —Reglamento (UE) 2016/679—, que establece los principios de licitud, lealtad, transparencia, minimización de datos y seguridad en el tratamiento de información personal.

Todos los participantes fueron incluidos mediante consentimiento informado firmado por sus representantes legales, quienes recibieron información detallada sobre los objetivos, procedimientos, beneficios

y posibles riesgos de la investigación. Los datos fueron codificados y almacenados en sistemas offline, bajo la custodia de la investigadora principal, y se establecieron mecanismos para garantizar los derechos de acceso, rectificación y supresión conforme a la legislación aplicable.

Este enfoque metodológico se alineó con los principios del método científico aplicado a la educación, al combinar observación sistemática, análisis riguroso y contextualización pedagógica. La investigación se desarrolló en un entorno educativo real, lo que favoreció la validez ecológica de los hallazgos y su aplicabilidad en contextos similares. En definitiva, el diseño adoptado permitió describir de manera longitudinal las tendencias de desempeño y participación, generando evidencia relevante para la mejora de las prácticas inclusivas y el desarrollo de estrategias educativas adaptadas a la diversidad funcional.

Este diseño aporta una elevada validez ecológica, al registrar el comportamiento cognitivo y emocional del alumnado en condiciones auténticas de aprendizaje dentro del centro especializado.

Participantes

La muestra estuvo compuesta por 28 alumnos con edades comprendidas entre 3 y 49 años del Centro Albatros de Colima, México, con diagnóstico de alteraciones neurológicas y que cumplieran con el criterio de movilidad corporal autónoma. La selección se realizó a partir de los criterios de inclusión y exclusión definidos por el equipo docente del centro, en el marco de la fase de planificación del estudio.

- Criterios de inclusión: Ser alumno matriculado en el curso 2022-2023 del Centro Albatros. Presentar alguna alteración neurológica, independientemente de su naturaleza (congénita o adquirida). Contar con un nivel mínimo de movilidad corporal autónoma que permitiera participar en actividades físicas sin asistencia directa.
- Criterios de exclusión: No contar con movilidad corporal autónoma, independientemente del diagnóstico neurológico.

Una vez aplicados estos criterios, se definió una muestra final de 28 participantes, distribuidos en cinco grupos de intervención cognitiva diferenciados por colores: rojo (6), azul (3), verde (5), amarillo (6)

y morado (8), tal y como se presenta en la **Tabla 1**. Esta organización respondió a criterios pedagógicos y funcionales establecidos por el centro, permitiendo adaptar las actividades cognitivas y físicas a las características individuales de cada grupo.

El rango etario de los participantes abarcó desde los 3 hasta los 49 años, reflejando la diversidad del ciclo vital contemplado en el estudio. La participación fue voluntaria y se formalizó mediante consentimiento informado firmado por los padres, madres o tutores legales, quienes recibieron información detallada sobre los objetivos, procedimientos, beneficios y posibles riesgos de la investigación.

Intervención

La intervención se diseñó como un programa de actividad física enriquecida cognitivamente, aplicado de forma regular durante un periodo de ocho meses (de marzo a noviembre de 2023), con una frecuencia de tres sesiones semanales (martes, miércoles y jueves) y una duración estimada de 30 a 45 minutos por sesión. Las actividades se llevaron a cabo en horario lectivo, dentro de las instalaciones del Centro Albatros de Colima, México.

El diseño del programa integró componentes motores y cognitivos, alineados con los dominios de matemáticas, razonamiento lógico, lenguaje y memoria, con el objetivo de estimular simultáneamente las funciones ejecutivas y las habilidades motrices de los participantes. Las actividades fueron elaboradas por el equipo docente del centro, atendiendo a las características individuales de cada grupo, y supervisadas por la investigadora principal del proyecto.

Cada sesión fue registrada mediante una ficha de actividad, que incluía los siguientes elementos:

- Objetivo cognitivo de la sesión.
- Materiales requeridos.
- Bloque de contenidos y descripción detallada de la actividad.
- Variables emocionales, como el estado de ánimo observado (feliz, triste, enojado, indiferente).
- Tipo de respuesta del participante: todas correctas, algunas correctas, todas incorrectas, no contestó (NC), sin evidencia (SE), no asistencia (NA).
- Observaciones cualitativas realizadas por el docente, incluyendo aspectos conductuales, actitudinales y de participación.

Tabla 1. Distribución de participantes por grupo de intervención

Grupo	Color identificativo	Número de participantes
Grupo 1	Rojo	6
Grupo 2	Azul	3
Grupo 3	Verde	5
Grupo 4	Amarillo	6
Grupo 5	Morado	8
Total	—	28

Nota. Los grupos fueron definidos por el equipo docente del Centro Albatros en función de criterios pedagógicos y funcionales, con el objetivo de adaptar las actividades cognitivas y físicas a las características individuales de cada participante.

Este enfoque permitió un seguimiento longitudinal del desempeño cognitivo y emocional de los participantes, facilitando el análisis de la evolución individual y grupal en cada uno de los dominios trabajados. La intervención se caracterizó por su adaptabilidad, su enfoque inclusivo y su alineación con principios de neuroeducación, favoreciendo la transferencia de aprendizajes a contextos funcionales y cotidianos.

Registro y análisis de datos

El análisis de datos se centró en las respuestas registradas durante las sesiones de intervención cognitiva y motriz, realizadas entre marzo y noviembre de 2023. La información fue recolectada mediante fichas de registro diseñadas por el equipo docente del Centro Albatros, que permitieron documentar de forma sistemática el desempeño de cada participante en las actividades propuestas.

Se consideraron como indicadores principales de mejora:

- Aumento en el número de respuestas correctas en los dominios de memoria, lenguaje, lógica y matemáticas.
- Disminución de respuestas incorrectas.
- Reducción de las categorías NC (no contestó) y NA (no asistencia), como reflejo de una mayor participación y compromiso.

Las respuestas fueron clasificadas en seis categorías: todas correctas, algunas correctas, todas incorrectas, no contestó (NC), sin evidencia (SE) y

no asistencia (NA). Además, se registraron variables emocionales como el estado de ánimo observado (feliz, triste, enojado, indiferente), lo que permitió contextualizar las respuestas cognitivas en función del bienestar emocional del participante.

La información fue organizada mediante estadísticas descriptivas, utilizando frecuencias absolutas y relativas para cada categoría de respuesta. Para visualizar la evolución temporal de los participantes, se elaboraron series gráficas mensuales que permitieron identificar patrones de mejora, estancamiento o retroceso en cada grupo. Estas gráficas fueron fundamentales para el análisis comparativo entre los cinco grupos de intervención (rojo, azul, verde, amarillo y morado), y para establecer relaciones entre la asistencia, el tipo de actividad y el rendimiento cognitivo.

El análisis también contempló la variabilidad interindividual, permitiendo observar cómo factores como la motivación, la actitud hacia las actividades y las características motoras influyen en el desempeño cognitivo. Este enfoque integral facilitó una interpretación más efectiva de los resultados y permitió generar recomendaciones pedagógicas adaptadas a las necesidades específicas de cada grupo.

Consideraciones neuroeducativas del diseño

La observación longitudinal aplicada en este estudio permite identificar patrones de activación ejecutiva derivados de la participación sostenida en tareas motrices con carga cognitiva. Este tipo de registro, realizado en situaciones reales y no artificiales, ofrece una aproximación propia de la neuroeducación aplicada, donde el aprendizaje se interpreta como un proceso dinámico que combina percepción, acción y cognición. La estructura adaptativa de las actividades favorece la estimulación de funciones ejecutivas ajustadas al nivel evolutivo de cada participante, coherente con el modelo de ajuste funcional propuesto por Best y Miller⁷.

En coherencia con lo expuesto, la **Figura 1** sintetiza el modelo neuroeducativo que articula la intervención, destacando la progresión entre estímulo motriz, demanda cognitiva, activación ejecutiva y evolución observacional.

Resultados

Respuesta a la intervención

Se realizó un análisis descriptivo longitudinal de las

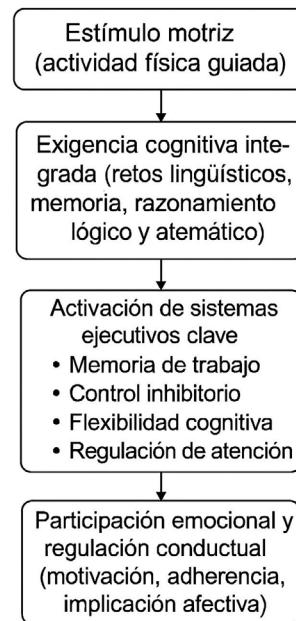


Figura 1. Figura 1. Modelo neuroeducativo de la intervención AFEC.

categorías registradas por sesión y dominio. Se calcularon frecuencias, porcentajes y tendencias temporales. Dado el carácter observacional del estudio, no se efectuaron inferencias estadísticas ni comparaciones entre grupos, priorizando la descripción de patrones de cambio y consistencia de registros. Durante el periodo de intervención, se evidenció una mejora progresiva en la calidad de las respuestas cognitivas de los participantes, atribuible a la implementación sistemática de actividades físicas enriquecidas cognitivamente. El análisis se centró en cuatro dominios cognitivos: memoria, lingüística, lógica y matemáticas, evaluados en cinco grupos diferenciados por color. Desde un enfoque neuroeducativo, los progresos observados en memoria, lenguaje, lógica y matemáticas indican una activación funcional de procesos ejecutivos asociados al control atencional, la planificación y la memoria operativa, especialmente cuando las tareas implican doble demanda motriz y cognitiva. A continuación, se detallan los hallazgos más relevantes:

Grupo Rojo (n=6)

Este grupo mostró una evolución positiva sostenida, especialmente en los dominios de lógica y memoria. En la segunda semana, el porcentaje de respuestas correctas fue del 35%, incrementándose hasta un 58% en la octava semana. Este avance se correla-

ción con una mayor familiaridad en las tareas y una mejora en la adherencia a las sesiones. La progresión en lógica sugiere una consolidación gradual de habilidades de razonamiento, en línea con lo planteado por Best y Miller⁷ sobre la necesidad de un diseño escalonado en tareas abstractas.

La **Figura 2** muestra la evolución mensual del rendimiento cognitivo del Grupo Rojo en los cuatro dominios evaluados, evidenciando una progresión constante desde las primeras semanas de intervención.

Grupo Azul (n=3)

A pesar de su tamaño reducido, este grupo mantuvo una alta tasa de asistencia, lo que favoreció una mejora significativa en el área lingüística. Las respuestas incorrectas disminuyeron del 44% al 20% entre las semanas 3 y 9. Este resultado refuerza la evidencia de que la regularidad en la intervención potencia la retención verbal³, especialmente en participantes con habilidades lingüísticas básicas.

La **Figura 3** presenta la evolución del Grupo Azul, caracterizada por mejoras especialmente destacables en el dominio lingüístico, asociadas a su alta asistencia y regularidad en las sesiones.

Grupo Verde (n=5)

El dominio de memoria fue el más beneficiado en este grupo. Se observó una reducción sustancial en respuestas tipo "NC" (no contestó) y "SE" (sin evidencia), pasando del 28% al 7% al finalizar el programa. La constancia en la asistencia fue un factor clave, como lo señalan Diamond y Ling¹, al permitir la consolidación de aprendizajes mediante la repetición sistemática.

La **Figura 4** recoge la evolución del Grupo Verde, en el que la reducción de respuestas tipo "NC" y "SE" sugiere un incremento progresivo del control atencional y la memoria de trabajo.

Grupo Amarillo (n=6)

Este grupo evidenció una mejora destacada en razonamiento lógico-matemático, con un incremento del 32% al 65% en respuestas correctas. Sin embargo, se registraron fluctuaciones en la participación y actitudes negativas hacia ciertas actividades, lo que sugiere que el componente motivacional y emocional debe ser considerado como variable mediadora en la eficacia de la intervención¹⁷.

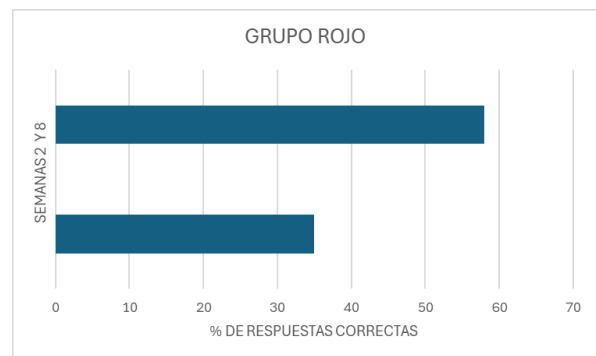


Figura 2. Evolución del desempeño cognitivo del Grupo Rojo.

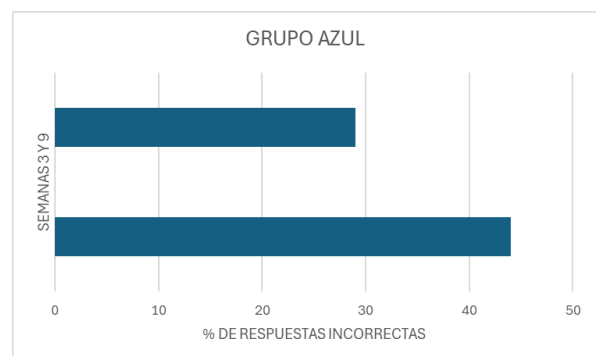


Figura 3. Evolución del desempeño cognitivo del Grupo Azul.

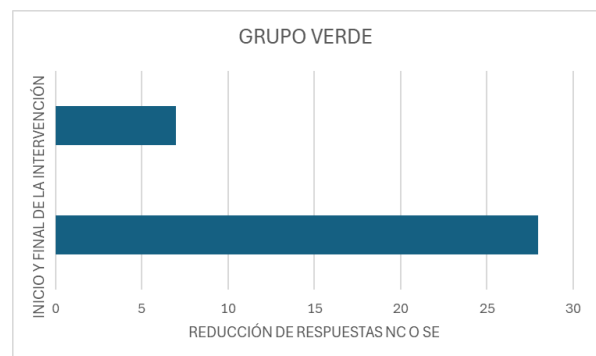


Figura 4. Evolución del desempeño cognitivo del Grupo Verde.

La **Figura 5** ilustra la evolución del Grupo Amarillo, donde las mejoras en razonamiento lógico-matemático coexisten con fluctuaciones relacionadas con el componente motivacional.

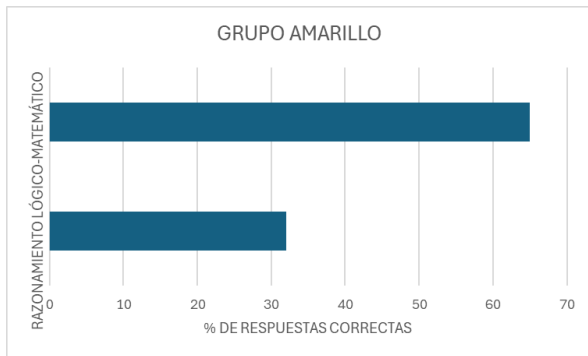


Figura 5. Evolución del desempeño cognitivo del Grupo Amarillo.

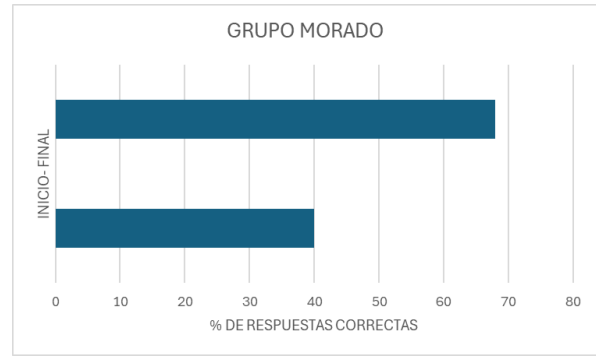


Figura 6. Evolución del desempeño cognitivo del Grupo Morado.

Grupo Morado (n=8)

El grupo presentó el cambio más significativo en la disminución de “NA” (no asistencia), lo que refleja una mejora en la adherencia al programa. Las respuestas correctas aumentaron de un promedio del 40 % a un 68 %. No obstante, las inasistencias acumuladas en etapas previas limitaron el progreso en áreas como lógica y matemáticas, evidenciando la necesidad de estrategias de retención y motivación más eficaces.

La **Figura 6** muestra la evolución del Grupo Morado, que presenta un notable incremento en la adherencia al programa y una tendencia ascendente en los dominios cognitivos evaluados.

A nivel transversal, todos los grupos mostraron avances en al menos uno de los dominios cognitivos trabajados. El conjunto de registros documentó un incremento del 52 % en respuestas correctas y una disminución del 47 % en respuestas incorrectas

respecto a las primeras semanas. Estos resultados respaldan la hipótesis de que la actividad física enriquecida cognitivamente tiene un impacto positivo en el desarrollo de funciones ejecutivas, especialmente cuando se aplica de forma regular, adaptada y motivacionalmente significativa. La **Tabla 2** sintetiza los cambios observados en cada dominio cognitivo entre el inicio y el final del programa, permitiendo visualizar de forma integrada el progreso global de los participantes.

A partir de lo anterior, se obtuvieron algunas interpretaciones generales de las intervenciones que coadyuvan al análisis de los resultados a partir de las actividades, la evolución temporal de los grupos y los elementos teóricos que acompañan el diseño de las metodologías para las actividades. Para una comprensión integrada de los resultados, la **Tabla 3** presenta una matriz analítica que relaciona los indicadores de mejora observados, los procesos ejecuti-

Tabla 2. Porcentajes de mejora en los dominios cognitivos evaluados durante la intervención AFEC.

Dominio	Semana inicial	Semana final	Variación (%)	Interpretación funcional
Memoria	35	58	+23	Consolidación de memoria de trabajo y evocación secuencial
Lenguaje	56	80	+24	Mejora en procesamiento fonológico y atención verbal
Lógica	32	65	+33	Incremento en razonamiento y flexibilidad cognitiva
Matemáticas	40	61	+21	Fortalecimiento de abstracción numérica y control atencional
Participación	60	83	+23	Aumento de adherencia y autorregulación emocional

Nota. Valores expresados en porcentajes de respuestas correctas registradas al inicio y al final de la intervención en los dominios de memoria, lenguaje, lógica y matemáticas.

Tabla 3. Matriz de análisis de resultados: Intervención de AFEC y evolución de funciones ejecutivas en población con alteraciones neurológicas.

Dominio / Grupo	Indicadores de mejora observados	Interpretación teórica (procesos ejecutivos implicados)	Factores mediadores (emocionales, contextuales, pedagógicos)	Evidencia de apoyo (literatura científica)
Memoria (Grupos Rojo y Verde)	Incremento sostenido de respuestas correctas (35% → 58% y 28% → 7% de NC/SE). Consolidación en evocación de consignas y secuencias.	La mejora refleja fortalecimiento de la memoria de trabajo, componente clave de las FE (14). La exposición repetida y significativa activa procesos de consolidación sináptica y codificación dual (motor-cognitiva).	Alta adherencia y retroalimentación docente directa; clima emocional positivo.	(1); (2); (5).
Lenguaje (Grupo Azul)	Reducción de respuestas incorrectas del 44% al 20%. Incremento en la precisión verbal y comprensión de consignas.	Activación de redes semánticas y procesamiento fonológico en tareas motoras verbales. Se evidencia transferencia entre canales sensoriomotores y lingüísticos.	Grupo pequeño y homogéneo permitió atención personalizada; alta constancia y motivación intrínseca.	(3); (10); (11).
Lógica y razonamiento matemático (Grupo Amarillo)	Incremento del 32% al 65% en respuestas correctas, aunque con fluctuaciones actitudinales.	Implicación de flexibilidad cognitiva y razonamiento abstracto, asociados al córtex prefrontal dorsolateral.	La fatiga emocional y la variabilidad motivacional modularon el rendimiento; necesidad de adaptar el grado de reto cognitivo.	(4); (7); (17).
Motivación y participación (Grupo Morado)	Disminución significativa de "NA" (no asistencia) y aumento en adherencia (40% → 68% respuestas correctas).	Mejora en autorregulación emocional y control atencional, dimensiones que sostienen la persistencia conductual.	La motivación autodeterminada actúa como modulador del compromiso cognitivo.	(17); (19); (21).
Tendencia transversal	+52% respuestas correctas globales, -47% incorrectas, reducción de "NC" y "SE".	La exposición prolongada a tareas cognitivamente enriquecidas potencia la neuroplasticidad funcional en dominios frontales.	Regularidad, <i>feedback</i> docente y diseño adaptativo fueron determinantes en la progresión.	(1); (5); (12).

Nota: Los resultados se presentan por grupo de intervención, así como con base en lo observado por parte de las y los docentes en el periodo establecido para las mismas.

vos implicados, los factores pedagógicos y emocionales mediadores y la evidencia teórica que sustenta cada dimensión.

Según se muestra en la tabla anterior, hubo un patrón de mejora generalizada, ya que todos los grupos evidenciaron avances, confirmando que la AFEC favorece la activación conjunta de sistemas ejecutivos y sensoriomotores, produciendo ganancias observables, incluso en contextos de diversidad funcional. A su vez, la memoria de trabajo mostró la evolución más consistente, probablemente por la naturaleza secuencial y repetitiva de las tareas motrices cognitivas, que facilitan la codificación y recuperación de información¹⁸. Por su parte,

los registros de estados afectivos y la disminución de la inasistencia sugieren que el compromiso emocional es un mediador esencial de la eficacia de la intervención^{17, 19}.

Como parte transversal, se infiere que la adaptación de las demandas cognitivas y motrices, según grupo funcional, fue determinante para mantener la participación y el sentido de logro, alineándose con el modelo de ajuste evolutivo de las FE⁷. Finalmente, a pesar de la ausencia de pruebas estandarizadas, los resultados observacionales aportan evidencia de validez ecológica y aplicabilidad pedagógica de la AFEC, confirmando su viabilidad en entornos reales de educación especial.

Discusión

Los resultados del estudio revelan una tendencia positiva y sostenida en la evolución de los indicadores conductuales asociados a las funciones ejecutivas (FE) tras la implementación de un programa de Actividad Física Enriquecida Cognitivamente (AFEC). Esta evidencia, aun cuando proviene de un diseño observacional, aporta un valor empírico relevante al corroborar los postulados teóricos sobre la neuroplasticidad funcional inducida por la estimulación cognitivo-motriz^{1,5}.

Implicaciones neuroeducativas

Los resultados apoyan la hipótesis neuroeducativa de que la actividad física diseñada con exigencias cognitivas actúa como un activador del sistema ejecutivo, potenciando la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva en contextos reales de aprendizaje. La disminución de categorías como “no contesta” o “sin evidencia” sugiere un mayor reclutamiento atencional y una mayor autorregulación, coherentes con la literatura sobre la relación entre movimiento significativo y procesos de control inhibitorio^{4,18}. La participación emocional observada refuerza el papel del clima afectivo en la consolidación de aprendizajes, aspecto clave en las propuestas actuales de neuroeducación.

Desde una perspectiva educativa, los resultados respaldan la incorporación de tareas AFEC como estrategia de aula en contextos de educación especial y programas inclusivos, especialmente cuando el objetivo es favorecer la autorregulación y la participación sostenida. En términos prácticos, la intervención sugiere tres aportes aplicables: (a) diseñar actividades motrices con consignas breves y reglas cambiantes para estimular flexibilidad e inhibición; (b) estructurar progresiones de dificultad y rutinas de *feedback* docente para consolidar memoria de trabajo y adherencia; y (c) priorizar un clima emocional seguro que reduzca “no contesta/sin evidencia” y aumente la implicación. Estas orientaciones permiten traducir la evidencia ecológica obtenida en criterios de diseño didáctico replicables, ajustables por grupo funcional y compatibles con objetivos curriculares de autonomía, comunicación y convivencia^{6,7,12}.

En primer lugar, la mejora observada en los dominios de memoria y razonamiento lógico confirma que las actividades físicas que incorporan desafíos cog-

nitivos (secuencias, reglas cambiantes, resolución de problemas motores) estimulan la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, dos pilares esenciales del control ejecutivo. Estos resultados son consistentes con el modelo de doble carga funcional propuesto por Pesce⁴, según el cual la integración simultánea de tareas motoras y cognitivas promueve la eficiencia sináptica y la automatización del procesamiento ejecutivo. La evolución gradual registrada en las categorías de desempeño evidencia un proceso de aprendizaje funcional, donde la práctica reiterada y significativa consolida los esquemas mentales de respuesta^{7,12}.

Otro aspecto digno de análisis es el papel de la motivación social y la regulación emocional como moduladores de la respuesta cognitiva. Los grupos con mayor cohesión y clima emocional positivo (por ejemplo, el grupo Morado) mostraron no solo menos inasistencias, sino también mejoras cognitivas más estables. Este patrón concuerda con las evidencias que vinculan la interacción social significativa con la activación de circuitos y la facilitación de la memoria de trabajo⁶. La AFEC, por tanto, trasciende la dimensión psicomotriz al generar un espacio de vinculación social y autoeficacia, condiciones que potencian el aprendizaje y la resiliencia cognitiva.

A lo largo de los ocho meses de seguimiento, se observó una tendencia positiva en la evolución de los indicadores de desempeño, con una reducción sostenida de las categorías “no contesta” y “sin evaluar”, y un incremento gradual de las respuestas correctas en los distintos dominios. Estos resultados sugieren procesos de adaptación y consolidación de aprendizajes funcionales, favorecidos por la exposición continua a tareas motrices con componentes cognitivos, lo cual indica una mejora en la implicación y comprensión de las tareas.

Si bien el diseño no permite establecer relaciones causales, las tendencias descriptivas observadas son congruentes con investigaciones previas que destacan la influencia del contexto de estimulación y la calidad de la práctica motriz en el desarrollo de procesos ejecutivos^{18,19}. El enfoque de Actividad Física Enriquecida Cognitivamente (AFEC) se alinea con los postulados de la neuroeducación, al integrar movimiento, atención y toma de decisiones en un entorno lúdico y estructurado^{12,20}.

Desde una perspectiva pedagógica, estos resultados resaltan el valor de las estrategias inclusivas

que incorporan la actividad física con carga cognitiva como medio para potenciar la autorregulación, la motivación y el compromiso emocional del alumnado. La implicación emocional observada durante las sesiones coincide con hallazgos que vinculan la participación activa y el clima afectivo positivo con mejoras en la atención y la persistencia en la tarea^{7,21}.

En este sentido, la observación longitudinal permitió identificar patrones de participación diferenciados según grupo funcional, evidenciando que la adaptación progresiva de las demandas cognitivas favorece la implicación y la autonomía. Estos resultados apoyan el modelo de ajuste evolutivo de las funciones ejecutivas propuesto por Best y Miller⁷, según el cual la efectividad de una tarea depende de su adecuación al nivel de desarrollo y a las capacidades de control cognitivo del individuo.

Asimismo, el enfoque AFEC se alinea con propuestas metodológicas inclusivas que buscan potenciar el desarrollo cognitivo desde una perspectiva neuroeducativa. Investigaciones recientes han explorado el potencial de entornos educativos innovadores (como los espacios virtuales inclusivos) para favorecer la participación y el aprendizaje en alumnado con diversidad funcional¹⁵. Aunque desde una aproximación tecnológica, estos estudios coinciden en destacar la importancia de diseñar experiencias educativas emocionalmente seguras y cognitivamente estimulantes, lo que respalda la pertinencia del enfoque adoptado en el presente trabajo.

En conjunto, los hallazgos de este estudio no buscan demostrar eficacia, sino describir tendencias observadas que aportan evidencia ecológica sobre la viabilidad del enfoque AFEC en contextos educativos especializados. La información recopilada a través de los registros docentes ofrece una aproximación empírica valiosa para el diseño de programas de intervención adaptados, sostenibles y centrados en la diversidad funcional.

Limitaciones del estudio

El diseño observacional descriptivo no permite establecer relaciones causales ni generalizar los resultados más allá del contexto específico. La recogida de datos basada en registros docentes puede incorporar sesgos de interpretación, aunque se aplicaron criterios sistemáticos de observación. La heterogeneidad etaria de la muestra (3-49 años) limita la comparación entre participantes y debe interpretarse

desde una perspectiva educativa más que evolutiva. Asimismo, la ausencia de pruebas estandarizadas y de un grupo control impide valorar la magnitud del efecto de la intervención AFEC; sin embargo, estos elementos forman parte de la lógica del enfoque ecológico del estudio.

Conclusiones

El presente estudio aporta evidencia descriptiva sobre la heterogeneidad en el desempeño cognitivo y conductual de estudiantes con alteraciones neurológicas en un contexto educativo especializado. Los resultados observados a lo largo del seguimiento longitudinal evidencian diferencias interindividuales significativas en la evolución de los indicadores de desempeño, lo que reafirma la importancia de considerar la diversidad funcional como punto de partida en el diseño de estrategias pedagógicas inclusivas^{7,18}.

La tendencia positiva observada en dominios como la memoria y el razonamiento lógico sugiere que la participación sostenida en entornos de actividad física con carga cognitiva favorece la implicación, la atención y la autorregulación. Estas observaciones coinciden con estudios que destacan el papel del entorno educativo y de la estimulación motriz-cognitiva en la consolidación de las funciones ejecutivas^{9,20}.

Asimismo, los resultados resaltan la influencia del contexto sociopedagógico en la expresión y el desarrollo de las funciones ejecutivas. Tal como plantean Hackman et al.²² y Shonkoff et al.²³, las condiciones ambientales y emocionales pueden modular la capacidad atencional y la flexibilidad cognitiva; de ahí la relevancia de promover espacios educativos emocionalmente seguros y cognitivamente desafiantes.

Desde una perspectiva metodológica, la observación longitudinal se consolida como un enfoque pertinente para documentar procesos de cambio y adaptación en contextos reales, aportando información útil para la planificación educativa y la evaluación de programas basados en la evidencia. Este tipo de diseño permite captar tendencias ecológicas que difícilmente podrían reflejarse en evaluaciones puntuales u observacionales longitudinales.

Finalmente, se recomienda ampliar esta línea de investigación mediante estudios comparativos y diseños mixtos que integren medidas observacionales y pruebas estandarizadas, a fin de profundizar en la

comprensión del vínculo entre actividad motriz, funciones ejecutivas y desarrollo socioemocional. Avanzar en esta dirección contribuirá a construir modelos educativos más equitativos, adaptativos y basados en evidencia científica^{12,18}.

En conjunto, los resultados refuerzan la pertinencia de integrar modelos neuroeducativos basados en la interacción motriz-cognitiva como vía para favorecer la autorregulación y el aprendizaje significativo en contextos de diversidad funcional.

Declaración ética

Este estudio cumple con los principios éticos recogidos en la Declaración de Helsinki y con las normativas institucionales aplicables. Fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universitat de Barcelona (dictamen favorable del 8 de septiembre de 2023) y por el Comité de Ética de la Universidad de Colima (dictamen en proceso de registro), de acuerdo con los requisitos establecidos para investigaciones con personas. Todos los participantes fueron incluidos mediante consentimiento informado firmado por sus representantes legales.

Contribución neuroeducativa del estudio

Este trabajo se enmarca en los principios de la neuroeducación al integrar de manera explícita la actividad física enriquecida cognitivamente (AFEC) con procesos ejecutivos clave como la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva. La intervención desarrolla una

“doble carga funcional” (motriz + cognitiva) que estimula redes frontoparietales implicadas en la autorregulación y la planificación. La aplicación en un centro especializado aporta validez ecológica, evidenciando cómo la activación neurocognitiva derivada del movimiento significativo puede favorecer la participación, el aprendizaje y la adaptación en alumnado con alteraciones neurológicas.

Contribuciones de los autores

María del Carmen González-André (autora principal): conceptualización, metodología, supervisión, administración del proyecto, validación, curación de datos, revisión y edición.

Sergio Moneo Benítez:

conceptualización, análisis formal, visualización, redacción borrador original, revisión crítica del manuscrito, ajuste a criterios editoriales y neuroeducativos.

Gabriel Díaz:

revisión y edición, verificación de contenido teórico y neuroeducativo, apoyo metodológico.

Edith Salazar:

trabajo de campo, apoyo en la intervención, curación de datos y recolección de información.

Guillermo Isaac González Rodríguez:

investigación (aplicación del programa y registro), recursos, adquisición de datos.

Referencias

1. Diamond A, Ling DS. Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions. *Developmental Cognitive Neuroscience*. 2016;18:34–48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
2. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart. *Nature Reviews Neuroscience*. 2008;9:58–65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>
3. GómezPinilla F. Brain foods: The effects of nutrients on brain function. *Nature Reviews Neuroscience*. 2008;9(7):568–578. <https://doi.org/10.1038/nrn2421>
4. Pesce C. Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*. 2012;34(6):766–786. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.6.766>
5. Mandolesi L, Polverino A, Montuori A, Foti F, Ferraioli G, Sorrentino P, et al. Effects of physical exercise on cognitive functioning. *Frontiers in Psychology*. 2018;9:509. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00509>
6. Guillem M. La actividad física como una oportunidad para el desarrollo, la mejora y optimización de los procesos de aprendizaje. *Journal of Neuroeducation*. 2024;4(2).
7. Best JR, Miller PH. A developmental perspective on executive function. *Child Development*. 2010;81(6):1641–1660. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2010.01499.x>
8. Miyake A, Friedman NP, Emerson MJ, Witzki AH, Howerter A. The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*. 2000;41(1):49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
9. Jolles J, Jolles DD. On Neuroeducation: Why and How to Improve Neuroscientific Literacy in Educational Professionals. *Frontiers in Psychology*. 2021;12:752151. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.752151>
10. Singh AS, Saliasi E, van den Berg V, Uijtdewilligen L, de Groot RHM, Jolles J, et al. Physical activity and cognitive function in children. *British Journal of Sports Medi-*

- cine. 2019;53(10):641–648. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100328>
11. Guillem M, Roig E, Díaz G. Cuando el movimiento facilita el aprendizaje: la relación entre actividad física y cognición según la neurociencia. Inde; 2023.
 12. Dehaene S. How we learn: Why brains learn better than any machine... for now. Viking; 2020.
 13. Sowa M, Meulenbroek R. Effects of physical exercise on autism spectrum disorders. *Research in Autism Spectrum Disorders*. 2012;6(1):46–57. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2011.09.001>
 14. VegaDíaz R, GonzálezGarcía R. Actividad física e intervención educativa en población con Trisomía 21. *Psicología Educativa*. 2022;28(1):22–33.
 15. SeguraBerges M, SánchezCaballé A, HernándezPérez R. Potencial del metaverso inclusivo en educación: una revisión sistemática de aplicaciones y retos emergentes. *Aloma: Revista de Psicología, Ciències de l'Educació i de l'Esport*. 2025;43(1):45–60. <https://doi.org/10.51698/aloma.2025.43.1.43-51>
 16. Hernández R, Fernández C, Baptista P. Metodología de la investigación. McGrawHill; 2014.
 17. Ryan RM, Deci EL. Selfdetermination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and wellbeing. *American Psychologist*. 2000;55(1):68–78. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
 18. Diamond A. Executive functions. *Annual Review of Psychology*. 2013;64:135–168.
 19. Blair C, Raver CC. Poverty, stress, and brain development: New directions for prevention and intervention. *Academic Pediatrics*. 2016;16(3 Suppl):S30–S36.
 20. Sala G, Gobet F. Working memory training in typically developing children: A multilevel metaanalysis. *Psychonomic Bulletin & Review*. 2020;27(3):423–434. <https://doi.org/10.3758/s13423-019-01681-y>
 21. Ursache A, Noble KG. Neurocognitive development in socioeconomic context: Multiple mechanisms and implications for measuring socioeconomic status. *Psychophysiology*. 2016;53(1):71–82.
 22. Hackman DA, Gallop R, Evans GW, Farah MJ. Socioeconomic status and executive function: Developmental trajectories and mediation. *Developmental Science*. 2015;18(5):686–702.
 23. Shonkoff JP, Garner AS, Siegel BS, Dobbins MI, Earls MF, McGuinn L, et al. The lifelong effects of early childhood adversity and toxic stress. *Pediatrics*. 2012;129(1):e232–e246. <https://doi.org/10.1542/peds.2011-2663>