

**Investigación original** | **Pediatría**

Efectos de un programa de ejercicios sobre la salud cerebral de niños con sobrepeso u obesidad

El ensayo clínico aleatorizado de ActiveBrains

Francisco B. Ortega, PhD; José Mora-González, PhD; Cristina Cadenas-Sánchez, PhD; Irene Esteban-Cornejo, PhD; Jairo H. Migueles, PhD; Patricio Solís-Urra, PhD; Juan Verdejo-Román, PhD; María Rodríguez-Ayllón, PhD; Pablo Molina-García, PhD; Jonatan R. Ruiz, PhD; Vicente Martínez-Vizcaíno, MD, PhD; Charles H. Hillman, doctorado; Kirk I. Erickson, PhD; Arturo F. Kramer, doctorado; Idoia Labayen, PhD; Andrés Catena, PhD

Abstracto

IMPORTANCIA El sobrepeso y la obesidad pediátrica son muy frecuentes en todo el mundo y tienen consecuencias negativas para la salud cognitiva y cerebral. El ejercicio podría atenuar estas consecuencias adversas.

OBJETIVOS Investigar los efectos de un programa de ejercicios sobre los indicadores de salud cerebral, incluida la inteligencia, la función ejecutiva, el rendimiento académico y los resultados cerebrales, entre niños con sobrepeso u obesidad y explorar posibles mediadores y moderadores de los principales efectos del ejercicio.

DISEÑO, ESCENARIO Y PARTICIPANTES Todos los datos previos y posteriores al ejercicio para este ensayo clínico aleatorizado de 20 semanas de 109 niños de 8 a 11 años con sobrepeso u obesidad se recopilaron del 21 de noviembre de 2014 al 30 de junio de 2016, y el procesamiento y análisis de datos de neuroimagen se realizó entre el 1 de junio de 2017 y el 20 de diciembre de 2021. Los 109 niños se incluyeron en los análisis por intención de tratar; 90 niños (82,6 %) completaron la evaluación posterior al ejercicio y asistieron al 70 % o más de las sesiones de ejercicio recomendadas y se incluyeron en los análisis por protocolo.

INTERVENCIONES Todos los participantes recibieron recomendaciones sobre el estilo de vida. El grupo de control continuó con sus rutinas habituales, mientras que el grupo de ejercicio asistió a un mínimo de 3 sesiones supervisadas de 90 minutos por semana en un entorno extraescolar.

PRINCIPALES RESULTADOS Y MEDIDAS Se evaluaron la inteligencia, la función ejecutiva (flexibilidad cognitiva, inhibición y memoria de trabajo) y el rendimiento académico con pruebas estandarizadas y se midió el volumen del hipocampo con resonancia magnética.

RESULTADOS Los 109 participantes incluyeron 45 niñas (41,3%); las participantes tenían un índice de masa corporal medio (DE) de 26,8 (3,6) y una edad media (DE) de 10,0 (1,1) años al inicio del estudio. En los análisis por protocolo, la intervención de ejercicios mejoró la inteligencia cristalizada, y el grupo de ejercicios mejoró desde antes del ejercicio hasta después del ejercicio (media \pm puntuación, 0,62 [IC del 95 %, 0,44-0,80]) en comparación con el grupo de control (media \pm puntuación, -0,10 [IC del 95 %, -0,28 a 0,09]; diferencia entre grupos, 0,72 DE [IC del 95 %, 0,46-0,97]; $PAG < .001$). La inteligencia total también mejoró significativamente más en el grupo de ejercicio (media \pm puntuación, 0,69 [IC del 95 %, 0,48-0,89]) que en el grupo de control (media \pm puntuación, 0,07 [IC del 95 %, -0,14 a 0,28]; diferencia entre grupos, 0,62 DE [IC del 95 %, 0,31-0,91]; $PAG < .001$). El ejercicio también afectó positivamente a una puntuación compuesta de flexibilidad cognitiva (media \pm puntuación: grupo de ejercicio, 0,25 [IC del 95 %, 0,05-0,44]; grupo de control, -0,17 [IC del 95 %, -0,39 a 0,04]; diferencia entre grupos, 0,42 DE [IC del 95 %, 0,13-0,71]; $PAG = .005$). Estos efectos principales fueron consistentes en los análisis por intención de tratar y

(continuado)

Puntos clave

Pregunta: ¿Puede una intervención de ejercicios de entrenamiento aeróbico más resistencia mejorar los resultados de salud cognitiva y cerebral en niños con sobrepeso u obesidad?

Recomendaciones: En este ensayo clínico aleatorizado de 109 participantes, el ejercicio mejoró significativamente la inteligencia y la flexibilidad cognitiva entre Niños preadolescentes con sobrepeso u obesidad. También se observó un efecto positivo, de menor magnitud, del ejercicio sobre el rendimiento académico, pero ningún efecto significativo sobre la inhibición y la memoria de trabajo o sobre los resultados estructurales y funcionales del cerebro estudiados.

Significado: Este estudio sugiere que el ejercicio puede afectar positivamente la inteligencia y la flexibilidad cognitiva durante un período sensible del desarrollo cerebral en la infancia y, en menor medida, el rendimiento académico, lo que indica que un estilo de vida activo antes de la pubertad puede conducir a trayectorias de vida más exitosas.

+ [Resumen visual](#)

+ [Contenido complementario](#)

Las afiliaciones de los autores y la información del artículo se enumeran al final de este artículo.

Acceso abierto. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia CC-BY.

Resumen (continuación)

Después de la corrección de múltiples pruebas, se observó un efecto positivo de pequeña magnitud del ejercicio en el rendimiento académico total (media de Puntuación: grupo de ejercicio, 0,31 [IC del 95 %, 0,18-0,44]; grupo de control, 0,10 [IC del 95 %, -0,04 a 0,24]; diferencia entre grupos, 0,21 DE [IC del 95 %, 0,01-0,40]; $PAG = .03$), que fue mediada parcialmente por la flexibilidad cognitiva. La inhibición, la memoria de trabajo, el volumen del hipocampo y otros resultados de resonancia magnética cerebral estudiados no se vieron afectados por el programa de ejercicios. La intervención aumentó el rendimiento de la aptitud cardiorrespiratoria, como lo indica el mayor tiempo en la cinta de correr hasta el agotamiento (media de Puntuación: grupo de ejercicio, 0,54 [IC del 95 %, 0,27-0,82]; grupo de control, 0,13 [IC del 95 %, -0,16 a 0,41]; diferencia entre grupos, 0,42 DE [IC del 95 %, 0,01-0,82]; $PAG = .04$), y estos cambios en la aptitud física mediaron algunos de los efectos (un pequeño porcentaje de mediación [aproximadamente 10%-20%]). Los efectos del ejercicio fueron en general consistentes entre los moderadores evaluados, excepto por mejoras mayores en la inteligencia entre los niños en comparación con las niñas.

CONCLUSIONES Y RELEVANCIA En este ensayo clínico aleatorizado, el ejercicio afectó positivamente la inteligencia y la flexibilidad cognitiva durante el desarrollo de niños con sobrepeso u obesidad. Sin embargo, no se identificaron los cambios estructurales y funcionales del cerebro responsables de estas mejoras.

REGISTRO DE ENSAYO Identificador de ClinicalTrials.gov: [NCT02295072](https://clinicaltrials.gov/ct2/show/study/NCT02295072)

Red JAMA abierta.2022;5(8):e2227893.doi:[10.1001/jamanetworkopen.2022.27893](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.27893)

Introducción

La prevalencia del sobrepeso y la obesidad entre los jóvenes se ha más que cuadruplicado en todo el mundo entre 1975 y 2016 (del 4% al 18%).¹ La evidencia sugiere que la obesidad podría afectar negativamente la salud del cerebro (es decir, el desarrollo cognitivo y cerebral).²⁻⁴ Por ello, es necesario identificar estrategias efectivas para atenuar estas consecuencias adversas. El ejercicio físico es un candidato a producir tales estímulos positivos porque proporciona beneficios multisistémicos a los órganos humanos, incluido el cerebro.^{5,6} Las intervenciones existentes basadas en ejercicios se han centrado principalmente en las funciones ejecutivas y otras dimensiones de la cognición (por ejemplo, la velocidad de procesamiento y el lenguaje).⁷⁻⁹ Sin embargo, hasta donde sabemos, no hay evidencia sobre el efecto del ejercicio sobre la inteligencia y sus componentes (es decir, la inteligencia cristalizada y la inteligencia fluida).¹⁰ Falta algo. En contra de las creencias tradicionales, está ganando adeptos la idea de que la inteligencia es "maleable" a pesar de su alta heredabilidad.¹¹ Sin embargo, se justifica más investigación.

Aunque la mayoría de los estudios anteriores se centraron en resultados conductuales (por ejemplo, la función ejecutiva y otras dimensiones de la cognición), solo unos pocos ensayos clínicos aleatorios (ECA) para niños han investigado los efectos del ejercicio sobre la estructura y la función del cerebro.¹²⁻²⁰ Es necesario realizar ECA de alta calidad que combinen resultados de imágenes cerebrales y conductuales, así como una mejor caracterización de la dosis de ejercicio administrada en las intervenciones.^{21,22} Además, estudios previos en animales²³ y adultos mayores²³⁻²⁵ Los autores han señalado que el volumen del hipocampo es un resultado cerebral crítico afectado por el ejercicio. Aunque el hipocampo no es una región cerebral directamente asociada con la inteligencia, es un eje central en las redes que respaldan la función ejecutiva y la memoria. Los efectos del ejercicio en esta región cerebral durante un período de crecimiento cerebral siguen sin investigarse, según nuestro conocimiento. Además, se necesita una investigación exhaustiva, que incluya un conjunto más amplio de resultados de imágenes por resonancia magnética (IRM), para comprender el efecto general del ejercicio en la estructura y la función cerebrales.

El ensayo clínico aleatorio de ActiveBrains²⁶ incluía un amplio conjunto de resultados de resonancia magnética cerebral y conductual y estaba diseñado para probar los efectos del ejercicio en la salud cerebral entre niños con sobrepeso u obesidad. Nuestro objetivo principal (planificado a priori) era investigar los efectos de un programa de ejercicio de 20 semanas en los resultados conductuales, incluida la inteligencia, la función ejecutiva (es decir, la flexibilidad cognitiva,

inhibición y memoria de trabajo) y el rendimiento académico, así como el volumen del hipocampo como región primaria de interés en niños con sobrepeso u obesidad.

En análisis secundarios (planificados a posteriori), exploramos los posibles mediadores y moderadores de los principales efectos del ejercicio observados en esta intervención. En primer lugar, investigamos la aptitud cardiorrespiratoria (CRF) como principal mediador candidato,²⁷⁻³⁸ y exploramos otras regiones cerebrales específicas de interés (por ejemplo, la corteza prefrontal debido a su relación con la inteligencia y la flexibilidad cognitiva).³⁹⁻⁴¹ y cambios estructurales y funcionales cerebrales más amplios (análisis sin hipótesis) como mediadores potenciales. En segundo lugar, probamos los moderadores potenciales (sexo, edad, madurez, nivel socioeconómico y desempeño inicial) de los efectos de la intervención.⁴² En tercer lugar, analizamos los posibles efectos compensatorios y de contaminación sobre los niveles de actividad diaria, que se evaluaron con acelerómetros. En cuarto lugar, analizamos la dosis de ejercicio (es decir, el volumen y la intensidad reales de la intervención, evaluados mediante el monitoreo de la frecuencia cardíaca), ya que esta dosis podría tener un efecto directo sobre la magnitud de los efectos de la intervención.

Métodos

Se describe brevemente el material y los métodos. Se proporciona el protocolo del ensayo y el plan de análisis estadístico. [Suplemento 1](#) Todos los detalles metodológicos se proporcionan en los métodos electrónicos.

[Suplemento 2.](#)

Diseño del estudio y participantes

El ensayo de ActiveBrains²⁶ es un ensayo clínico aleatorizado de grupos paralelos realizado entre niños de 8 a 11 años con sobrepeso u obesidad. El reclutamiento se realizó principalmente en las unidades pediátricas de los 2 principales hospitales de Granada, España. Un total de 109 participantes fueron asignados aleatoriamente (aleatorización simple realizada con SPSS, versión 25.0 [IBM Corp]) a un grupo control o a un grupo de ejercicio. El diagrama de flujo del estudio se presenta en **Figura 1**. Todos los datos previos y posteriores al ejercicio se recopilaron entre el 21 de noviembre de 2014 y el 30 de junio de 2016. Los padres o tutores legales de los niños dieron su consentimiento informado por escrito para participar en el ensayo. El proyecto ActiveBrains fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Granada y se registró en ClinicalTrials.gov (NCT02295072). Este ensayo siguió las Normas consolidadas para la presentación de informes de ensayos (CONSORTE) directrices de presentación de informes.

Potencia y tamaño de la muestra

Nuestro estudio fue diseñado para detectar efectos de tamaño pequeño a mediano (es decir, $Cohen\ d=0,3$), con un error α del 5% y una potencia del 80% con la inclusión de 90 participantes. Después del ajuste para una tasa de abandono estimada del 10% (se ha observado una tasa similar en ensayos anteriores)⁴³, se necesitaban 100 participantes para tener suficiente energía.

Intervención y control

Los participantes del grupo de control continuaron con sus rutinas habituales. Tanto el grupo de control como el de ejercicio recibieron información sobre nutrición saludable y recomendaciones para la actividad física al comienzo del estudio. El grupo de ejercicio recibió instrucciones de asistir al menos a 3 (de las 5 ofrecidas) sesiones de ejercicio supervisadas por semana. Las sesiones duraron 90 minutos (60 minutos de ejercicios aeróbicos más 30 minutos de ejercicios de resistencia). Para aumentar la motivación y la adherencia, las sesiones de ejercicio se basaron en juegos y actividades lúdicas que implicaban ejercicios de coordinación.

Mediciones de resultados

Inteligencia, función ejecutiva y rendimiento académico

Todos los resultados se evaluaron antes y después de la intervención. La inteligencia cristalizada, la inteligencia fluida y la inteligencia total (es decir, la inteligencia cristalizada más la fluida) se evaluaron mediante la versión en español del Test Breve de Inteligencia de Kaufman.⁴⁴ La flexibilidad cognitiva se evaluó utilizando la escala de fluidez de diseño.

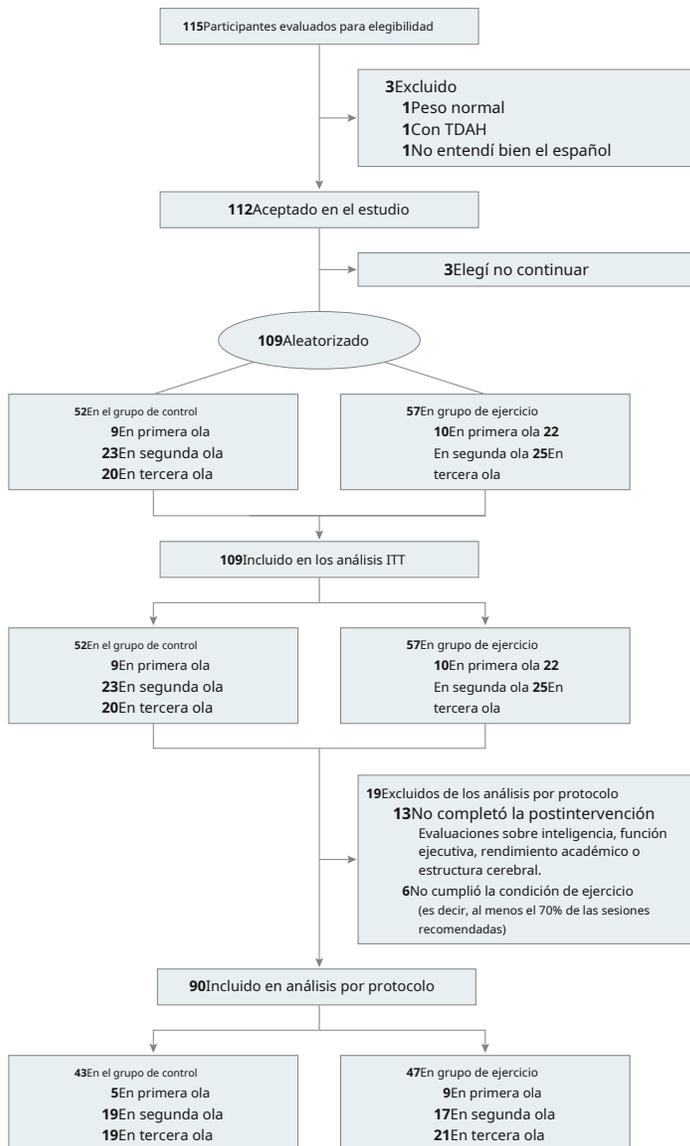
Prueba de inhibiciones y prueba de trazado de líneas. La inhibición se evaluó con una versión modificada de la prueba de palabras y colores de Stroop (versión en papel y lápiz).⁴⁵⁻⁴⁷ La memoria de trabajo se midió mediante una versión modificada de la tarea computarizada Delayed Non-Match-to-Sample.⁴⁸ El rendimiento académico se evaluó mediante la versión en español de la Prueba de Logro Woodcock-Johnson III.⁴⁹

Resultados de la resonancia magnética cerebral

Los resultados de resonancia magnética estructural y funcional estudiados se resumen en la eFigura 1. **Suplemento 2** La adquisición de MRI y los pasos de procesamiento específicos para cada análisis se detallan individualmente en los métodos electrónicos en **Suplemento 2**.

Aptitud cardiorrespiratoria, maduración biológica y estatus socioeconómico La aptitud cardiorrespiratoria se evaluó utilizando un analizador de gases (General Electric Corp) mientras el participante realizaba una prueba de esfuerzo incremental máxima (ergómetro; h/p/cosmos sports & medical gmbh).⁴³ La velocidad máxima de crecimiento, un indicador común de madurez en los niños y

Figura 1. Diagrama de flujo de CONSORT



Para los análisis finales por intención de tratar (ITT), se imputaron los participantes que abandonaron el estudio durante la intervención o que no completaron las evaluaciones del programa posterior al ejercicio (consulte la sección Análisis estadístico). El número real de cada variable se puede ver en las tablas electrónicas 1 a 22 en **Suplemento 2** TDAH significa trastorno por déficit de atención e hiperactividad.

adolescentes,⁵⁰ Se calculó mediante las ecuaciones de Moore et al.⁵¹ Los padres informaron sobre su nivel educativo más alto alcanzado y su ocupación actual, como se describe en otra parte.^{26,52}

Evaluación general de la actividad física antes y durante la intervención

Los patrones de actividad al inicio y durante la intervención (semana 10) se evaluaron con acelerómetros de cadera y muñeca (GT3X+; ActiGraph LLC), como se describe en otra parte.⁵³

Análisis estadístico

El procesamiento y análisis de datos de neuroimagen se realizó del 1 de junio de 2017 al 20 de diciembre de 2021. Informamos los hallazgos de los análisis por protocolo en el artículo principal y los análisis por intención de tratar en el Apéndice electrónico y las Tablas electrónicas 19 a 21 en [Suplemento 2](#). Basándonos en dos razones: (1) nuestro objetivo era estudiar la eficacia del programa en lugar de su efectividad, y (2) en neuroimagen, es técnicamente difícil aplicar métodos de imputación sobre imágenes, y rara vez se hace. Los análisis de los efectos de la intervención se probaron utilizando análisis de covarianza, con resultados conductuales y varios resultados de MRI (volumen del hipocampo como la región de interés principal) como variables dependientes en modelos separados, grupo (ejercicio vs control) como factor fijo, y la línea base del resultado del estudio como covariable. Los efectos de la intervención se presentan como *ef* puntuaciones de cambio, lo que indica que las DE de los valores del programa posterior al ejercicio cambiaron con respecto a la media inicial y los valores de DE (es decir, el tamaño del efecto estandarizado del cambio)⁵⁴. Este tamaño del efecto se puede interpretar de acuerdo con los puntos de referencia estándar (es decir, aproximadamente 0,2 DE se considera un tamaño de efecto pequeño, aproximadamente 0,5 DE se considera un tamaño de efecto medio y aproximadamente 0,8 DE se considera un tamaño de efecto grande).⁵⁵ Los resultados en las unidades de medida brutas también se proporcionan en las tablas electrónicas 1 a 22. [Suplemento 2](#). Todo *PAG* Los valores procedían de pruebas bilaterales y los resultados se consideraron estadísticamente significativos en *PAG* < .05. Además, aplicamos múltiples correcciones de pruebas en los resultados primarios siguiendo el método de tasa de falsos descubrimientos propuesto por Benjamini y Hochberg.⁵⁶ Los análisis planificados a posteriori consistieron en explorar posibles mediadores y moderadores. Nuestros análisis de mediación están en línea con la Guía para la presentación de informes de análisis de mediación ([AGREMA](#)). Los procedimientos estadísticos se realizaron utilizando el software SPSS, versión 25.0 (IBM Corporation) y el software R, versión 3.1.2 (R Group for Statistical Computing).

Resultados

Las características basales de los participantes se presentan en la Tabla electrónica 1. [Suplemento 2](#) De los 109 participantes aleatorizados (45 niñas [41,3 %]; índice de masa corporal medio [DE] [calculado como peso en kilogramos dividido por la altura en metros al cuadrado] de 26,8 [3,6] y edad media [DE] de 10,0 [1,1] años al inicio del estudio), 96 completaron el ensayo (tasa de deserción del 11,9 %) y 90 cumplieron los criterios para los análisis por protocolo (82,6 % de la muestra original). En la eFigura 1 se presenta una ilustración gráfica de los análisis planificados a priori y a posteriori de los resultados de salud cerebral. [Suplemento 2](#) Se proporcionan detalles adicionales en el Apéndice electrónico. [Suplemento 2](#).

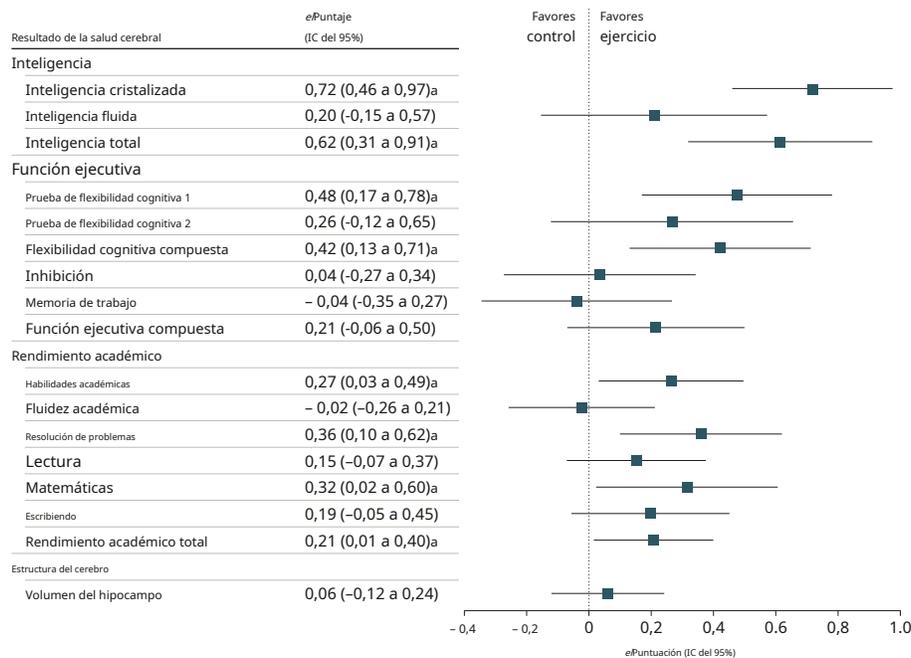
Análisis planificados a priori

Los análisis planificados a priori incluyeron los efectos de la intervención de ejercicios sobre la inteligencia, la función ejecutiva, el rendimiento académico y el volumen del hipocampo. El mayor tamaño del efecto observado en el programa de ejercicios ActiveBrains fue para la inteligencia cristalizada, ya que el grupo de ejercicios mejoró desde antes del ejercicio hasta después del ejercicio (media *ef* puntuación, 0,62 [IC del 95 %, 0,44-0,80]) en comparación con el grupo de control (media *ef* puntuación, -0,10 [IC del 95 %, -0,28 a 0,09]; diferencia entre grupos, 0,72 DE [IC del 95 %, 0,46-0,97]; *PAG* < .001) (**Figura 2**; Tabla electrónica 2 en [Suplemento 2](#)). La inteligencia total también mejoró significativamente más entre el grupo de ejercicio (media *ef* puntuación, 0,69 [IC del 95 %, 0,48-0,89]) que entre el grupo de control (media *ef* puntuación, 0,07 [IC del 95 %, -0,14 a 0,28]; diferencia entre grupos, 0,62 DE [IC del 95 %, 0,31-0,91]; *PAG* < .001). Además, el ejercicio afectó positivamente a una puntuación compuesta de flexibilidad cognitiva, derivada de 2 pruebas de flexibilidad cognitiva (media *ef* puntaje:

grupo de ejercicio, 0,25 [IC del 95 %, 0,05-0,44]; grupo de control, -0,17 [IC del 95 %, -0,39 a 0,04]; diferencia entre grupos, 0,42 DE [IC del 95 %, 0,13-0,71]; *PAG*= .005). Dentro de este compuesto, la mayor mejora se observó en el desempeño en la prueba de flexibilidad cognitiva 1 (es decir, la Prueba de fluidez de diseño) (media e/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,65 [IC del 95 %, 0,44-0,86]; grupo de control, 0,18 [IC del 95 %, -0,04 a 0,39]; diferencia entre grupos, 0,48 DE [IC del 95 %, 0,17-0,78]; *PAG*= .003) El programa de ejercicios tuvo un efecto nulo sobre la inhibición (media e/Puntuación: grupo de ejercicio, -0,51 [IC del 95 %, -0,72 a -0,30]; grupo de control, -0,48 [IC del 95 %, -0,70 a -0,25]; diferencia entre grupos, 0,04 DE [IC del 95 %, -0,27 a 0,34]; *PAG*= .82) y la memoria de trabajo (media e/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,01 [IC del 95 %, -0,20 a 0,22]; grupo de control, 0,05 [IC del 95 %, -0,17 a 0,27]; diferencia entre grupos, -0,04 DE [IC del 95 %, -0,35 a 0,27]; *PAG*= .80).

En cuanto al rendimiento académico, el ejercicio mejoró el rendimiento académico total (media e/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,31 [IC del 95 %, 0,18-0,44]; grupo de control, 0,10 [IC del 95 %, -0,04 a 0,24]; diferencia entre grupos, 0,21 DE [IC del 95 %, 0,01-0,40]; *PAG*= .03) y, en particular, las matemáticas (es decir, e/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,35 [IC del 95 %, 0,15-0,55]; grupo de control, 0,04 [IC del 95 %, -0,17 a 0,25]; diferencia entre grupos, 0,32 DE [IC del 95 %, 0,02-0,60]; *PAG*= .04), resolución de problemas (media e/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,41 [IC del 95 %, 0,24-0,59]; grupo de control, 0,05 [IC del 95 %, -0,13 a 0,24]; diferencia entre grupos, 0,36 DE [IC del 95 %, 0,10-0,62]; *PAG*= .007) y habilidades académicas (media e/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,27 [IC del 95 %, 0,11-0,43]; grupo de control, 0,01 [IC del 95 %, -0,16 a 0,17]; diferencia entre grupos, 0,27 DE [IC del 95 %, 0,03-0,49]; *PAG*= .03) (Figura 2; eTabla 3 en **Suplemento 2**). El programa de ejercicios tuvo un efecto pequeño y no significativo en las habilidades de lectura y escritura y un efecto nulo en

Figura 2. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los principales resultados de salud cerebral



Los puntos indican la diferencia entre grupos en e/puntuaciones de cambio (es decir, resultados posteriores al ejercicio con respecto al valor medio [DE] inicial). Las barras indican IC del 95 %. Cada análisis se ajustó a los resultados iniciales. El compuesto de flexibilidad cognitiva e/La puntuación se calculó como la media renormalizada de la e/puntuaciones de la prueba de flexibilidad cognitiva 1 y la prueba de flexibilidad cognitiva 2. El compuesto de función ejecutiva e/La puntuación se calculó como la media renormalizada de la e/puntuaciones de flexibilidad cognitiva, inhibición y memoria de trabajo. Las habilidades académicas son la suma de los componentes basados en habilidades básicas, como la decodificación de lectura, el cálculo matemático y la ortografía. La fluidez académica es la suma de las pruebas basadas en la fluidez de lectura, cálculo y escritura. La resolución de problemas es la suma de los componentes basados en la resolución de problemas académicos en lectura, matemáticas y

El rendimiento académico total es la medida general del rendimiento académico basado en lectura, matemáticas y escritura. Dos de las pruebas cognitivas (es decir, la prueba de flexibilidad cognitiva 2 [Trail Making Test] y la prueba de inhibición [Stroop Color-Word Test]) se expresaron originalmente de forma inversa, lo que significa que las puntuaciones más bajas indican un mejor rendimiento. Para simplificar la interpretación visual de los hallazgos principales, invertimos estas 2 puntuaciones para que puedan interpretarse de la misma manera que el resto de los resultados (es decir, una puntuación más alta indica un mejor rendimiento). Estas pruebas cognitivas se expresan en sus unidades originales y no invertidas en las tablas electrónicas 2 y 19. **Suplemento 2**.

aEfecto significativo en *PAG* < .05 (o por el IC del 95% sin incluir el cero).

Fluidez académica. En los análisis exploratorios, el efecto positivo del ejercicio sobre el rendimiento académico total, las matemáticas y las habilidades académicas estuvo mediado (30%-39% de mediación) por las mejoras inducidas por el ejercicio en la flexibilidad cognitiva (eFigura 2A-C en [Suplemento 2](#)). Las mejoras en la resolución de problemas académicos fueron mediadas (15% de mediación) por mejoras inducidas por el ejercicio en la inteligencia fluida (eFigure 2D en [Suplemento 2](#)). Sin embargo, el programa de ejercicios no tuvo efecto sobre el volumen general del hipocampo (mediae/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,19 [IC del 95 %, 0,07-0,32]; grupo de control, 0,13 [IC del 95 %, 0,00-0,27]; diferencia entre grupos, 0,06 DE [IC del 95 %, -0,12 a 0,24]; $PAG = .50$; Figura 2; eTabla 4 en [Suplemento 2](#)).

Después de la corrección para comparaciones múltiples de los resultados primarios (los 17 resultados que se muestran en la Figura 2), los efectos más grandes en la inteligencia cristalizada (mediae/puntuación, 0,72 [IC del 95%, 0,46-0,97]; $PAG = .001$), inteligencia total (mediae/puntuación, 0,62 [IC del 95%, 0,31-0,91]; $PAG = .001$) y el compuesto de flexibilidad cognitiva (mediae/puntuación, 0,42 [IC del 95%, 0,13-0,71]; $PAG = .02$) persistieron. Asimismo, los efectos en la resolución de problemas continuaron siendo significativos (mediae/Puntuación, 0,36 [IC del 95 %, 0,10-0,62]; corregida $PAG = .02$), mientras que los efectos dejaron de ser significativos para las matemáticas (mediae/Puntuación, 0,32 [IC del 95 %, 0,02-0,60]; corregida $PAG = .07$), habilidades académicas (mediae/Puntuación, 0,27 [IC del 95 %, 0,03-0,49]; corregida $PAG = .07$) y el rendimiento académico total (mediae/Puntuación, 0,21 [IC del 95 %, 0,01-0,40]; corregida $PAG = .07$).

Análisis planificados a posteriori de los resultados de la resonancia magnética cerebral

Como se muestra en la Figura 1 [Suplemento 2](#), exploramos los efectos de la intervención en un conjunto de resultados de resonancia magnética cerebral, incluidos análisis volumétricos de las subregiones del hipocampo y la corteza prefrontal (eTablas 4-5 en [Suplemento 2](#)); el grosor cortical, el área de superficie y las subregiones de la corteza prefrontal (eTablas 6-7 en [Suplemento 2](#)); y la conectividad funcional entre el hipocampo y la corteza prefrontal (eTablas 8-13 en [Suplemento 2](#)). También estudiamos los efectos de la intervención utilizando un enfoque cerebral más amplio, incluidos los volúmenes de materia gris de las estructuras cerebrales subcorticales (eTabla 14 en [Suplemento 2](#)), análisis morfológico (forma) de las estructuras cerebrales subcorticales (eFigure 3 en [Suplemento 2](#)), volúmenes cerebrales totales (eTabla 15 en [Suplemento 2](#)), análisis volumétrico voxel por voxel de todo el cerebro y análisis de red de covarianza estructural de todo el cerebro (eFigura 4, eTabla 16 en [Suplemento 2](#)). Nuestra intervención no tuvo un efecto significativo en ninguno de estos resultados de resonancia magnética.

Efectos de la intervención sobre el CRF y su papel como mediador

El programa de ejercicios mejoró la CRF como lo indica el tiempo en la cinta de correr hasta el agotamiento (mediae/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,54 [IC del 95 %, 0,27-0,82]; grupo de control, 0,13 [IC del 95 %, -0,16 a 0,41]; diferencia entre grupos, 0,42 DE [IC del 95 %, 0,01-0,82]; $PAG = .04$) (Tabla electrónica 17 en [Suplemento 2](#)). Se observó una mejora constante, aunque menor y no significativa, en el consumo máximo de oxígeno, expresado en mililitros por kilogramo por minuto (mediae/Puntuación: grupo de ejercicio, 0,39 [IC del 95 %, 0,13-0,65]; grupo de control, 0,10 [IC del 95 %, -0,18 a 0,37]; diferencia entre grupos, 0,29 DE [IC del 95 %, -0,08 a 0,67]; $PAG = .13$). Los efectos del programa de ejercicios sobre la inteligencia cristalizada, la resolución de problemas y el rendimiento académico total fueron significativamente mediados por mejoras en el CRF (es decir, el tiempo hasta el agotamiento), con un efecto de mediación del 10% al 20% (**Figura 3**).

Moderadores de los efectos de la intervención

Figura 4 muestra que los tamaños del efecto del programa de ejercicios fueron consistentes en función del sexo, la edad y la madurez para la mayoría de los resultados primarios estudiados, excepto para la inteligencia cristalizada, para la cual el programa de ejercicios fue más eficaz para los niños, los participantes más jóvenes y los participantes menos maduros. Las diferencias de sexo observadas podrían explicarse parcialmente por el hallazgo de que los niños pasaron más tiempo en zonas de alta intensidad (es decir, por encima de su umbral anaeróbico individualizado monitoreado con la frecuencia cardíaca) (eTabla 18 en [Suplemento 2](#)). También observamos que los niños con un nivel socioeconómico más bajo mostraron mayores mejoras en la inteligencia fluida y total, al igual que los niños con un rendimiento más bajo al inicio en la prueba de inteligencia (eFigure 5 en [Suplemento 2](#)).

Análisis exploratorios relacionados con la interpretación de los efectos de la intervención

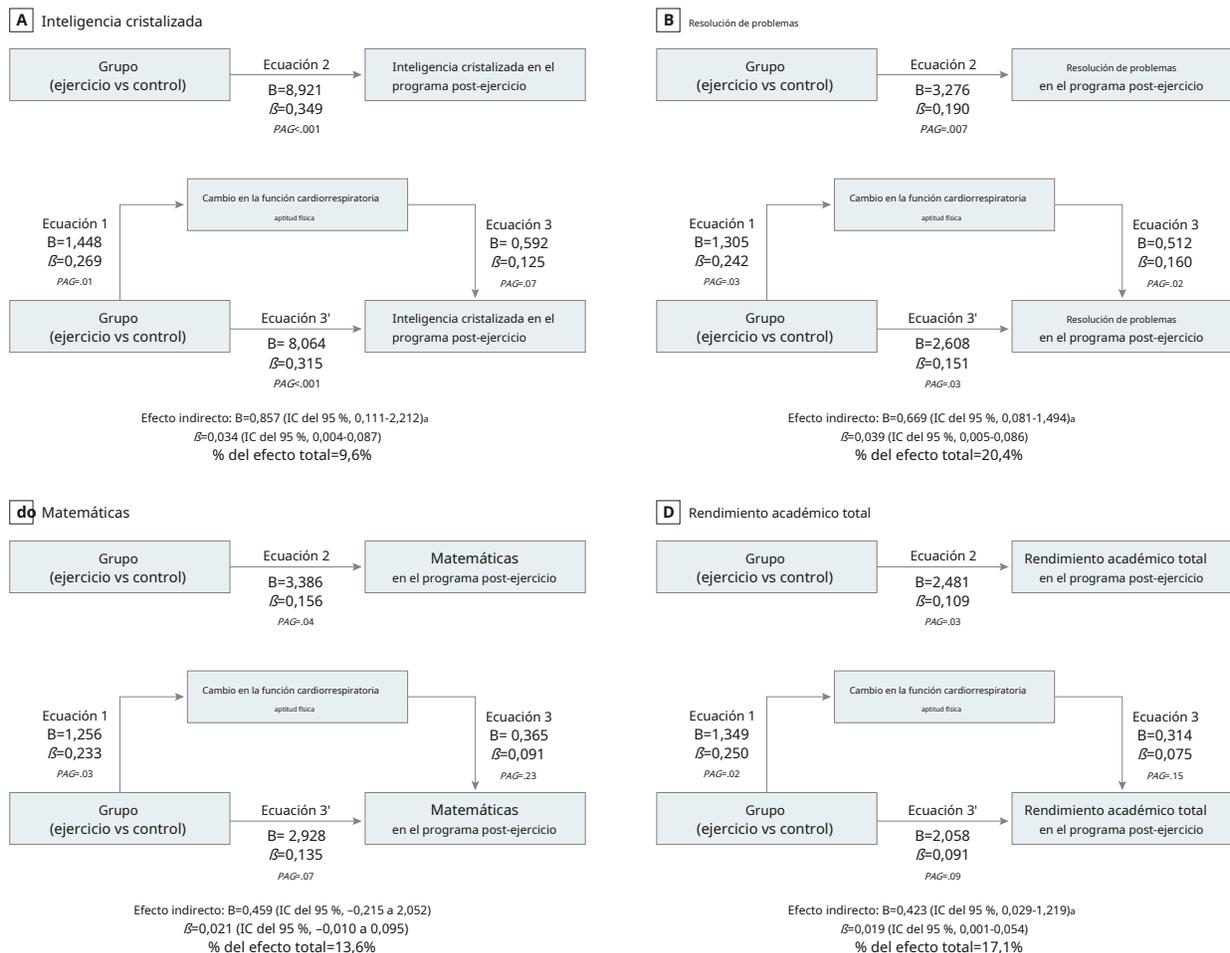
Análisis de intención de tratar y de abandono

Los principales efectos de esta intervención observados sobre la inteligencia y la flexibilidad cognitiva siguieron siendo significativos en los análisis por intención de tratar (eTablas 19-21 en **Suplemento 2**), lo que indica la solidez de los principales hallazgos (más detalles en el Apéndice electrónico en **Suplemento 2**). Los participantes que se retiraron durante el ensayo no difirieron de los que completaron el estudio en ninguno de los resultados conductuales estudiados (eTabla 22 en **Suplemento 2**).

Efectos compensatorios y de contaminación

Los niños del grupo de ejercicio aumentaron significativamente sus niveles de actividad durante el momento del día en el que participaban en el programa de ejercicio, sin reducciones (es decir, sin compensación) durante otros momentos del día (resultados del acelerómetro colocado en la cadera en **Figura 5**; resultados del acelerómetro colocado en la muñeca en la eFigure 6 en **Suplemento 2**). Los niños del grupo de control mantuvieron los mismos niveles de actividad diaria (es decir, sin contaminación).

Figura 3. Modelos de mediación del cambio de aptitud cardiorrespiratoria de los efectos de la intervención (es decir, ejercicio vs. control) sobre los resultados de inteligencia cristalizada y rendimiento académico en niños con sobrepeso u obesidad

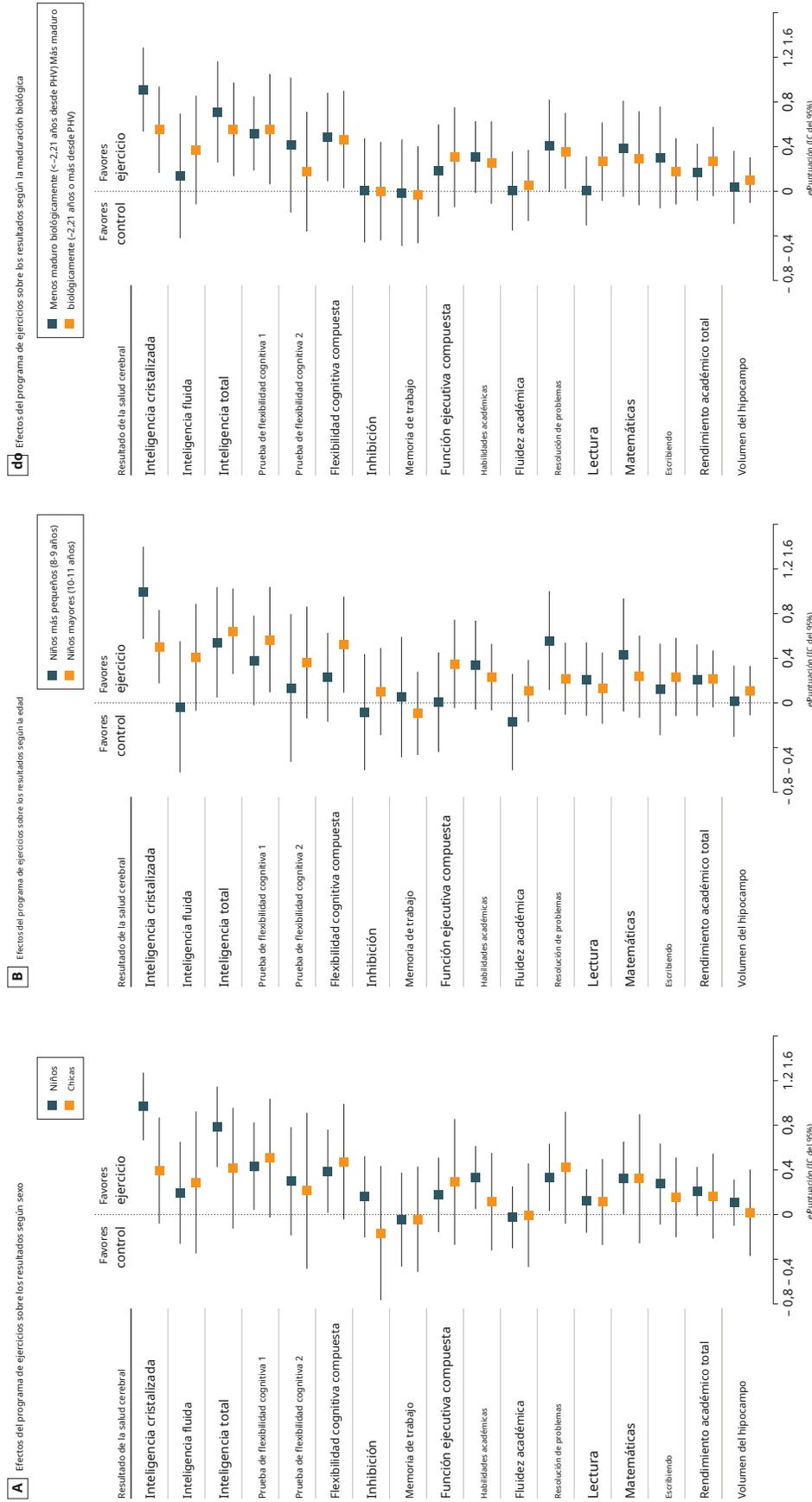


Cada análisis se ajustó según los resultados de inteligencia o rendimiento académico respectivos al inicio. El cambio en la aptitud cardiorrespiratoria expresa el cambio en el tiempo total de finalización (minutos) de la prueba en cinta rodante en el programa posterior al ejercicio con respecto al tiempo total de finalización (minutos) al inicio porque fue el principal resultado de aptitud cardiorrespiratoria influenciado por el programa de ejercicio. La resolución de problemas es la suma de los componentes basados en la resolución de problemas académicos en lectura,

Matemáticas y escritura. El rendimiento académico total es la medida general del rendimiento académico basado en lectura, matemáticas y escritura. B indica coeficiente de regresión no estandarizado; β , coeficiente de regresión estandarizado.

^aEfecto indirecto significativo en $PAG<.05$.

Figura 4. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los principales resultados de salud cerebral por sexo, edad y maduración biológica



Cada análisis se ajustó según los resultados iniciales. Los puntos indican la diferencia entre grupos en puntuaciones de cambio (es decir, resultados posteriores al ejercicio con respecto al valor medio [DE] inicial). Las barras indican IC del 95%. Para expresar la maduración biológica, se calculó el número de años desde la velocidad máxima de crecimiento (VCM) restando la edad de maduración biológica a la edad cronológica. La diferencia en años se utilizó como medida de madurez. La velocidad máxima de crecimiento se dicotomizó utilizando la mediana. El compuesto de flexibilidad cognitiva e la puntuación se calculó como la media renormalizada de la prueba de flexibilidad cognitiva 1 y de la prueba de flexibilidad cognitiva 2. Prueba compuesta de función ejecutiva e la puntuación se calculó como la media renormalizada de la e las puntuaciones de flexibilidad cognitiva, inhibición y memoria de trabajo. Las habilidades académicas son la suma de los componentes básicos en habilidades básicas como la decodificación de lectura, el cálculo matemático y la ortografía. La fluidez académica es la suma de las pruebas basadas en la fluidez de lectura, cálculo y escritura. La resolución de problemas es la suma de los componentes basados en la resolución de problemas académicos en lectura, matemáticas y escritura. El rendimiento académico total es la medida general del rendimiento académico basado en lectura, matemáticas y escritura. Dos de las pruebas cognitivas (es decir, la prueba de flexibilidad cognitiva 2 [Trail Making Test] y la prueba de inhibición [Stroop Color-Word Test]) se expresaron originalmente de forma inversa, lo que significa que las puntuaciones más bajas indican un mejor rendimiento. Para simplificar la interpretación visual de los hallazgos principales, invertimos estas 2 puntuaciones para que puedan interpretarse de la misma manera que el resto de los resultados (es decir, una puntuación más alta indica un mejor rendimiento). Estas pruebas cognitivas se expresan en sus unidades originales y no invertidas en las tablas electrónicas 2 y 19. [Suplemento 2.](#)

Volumen e intensidad del programa de ejercicios

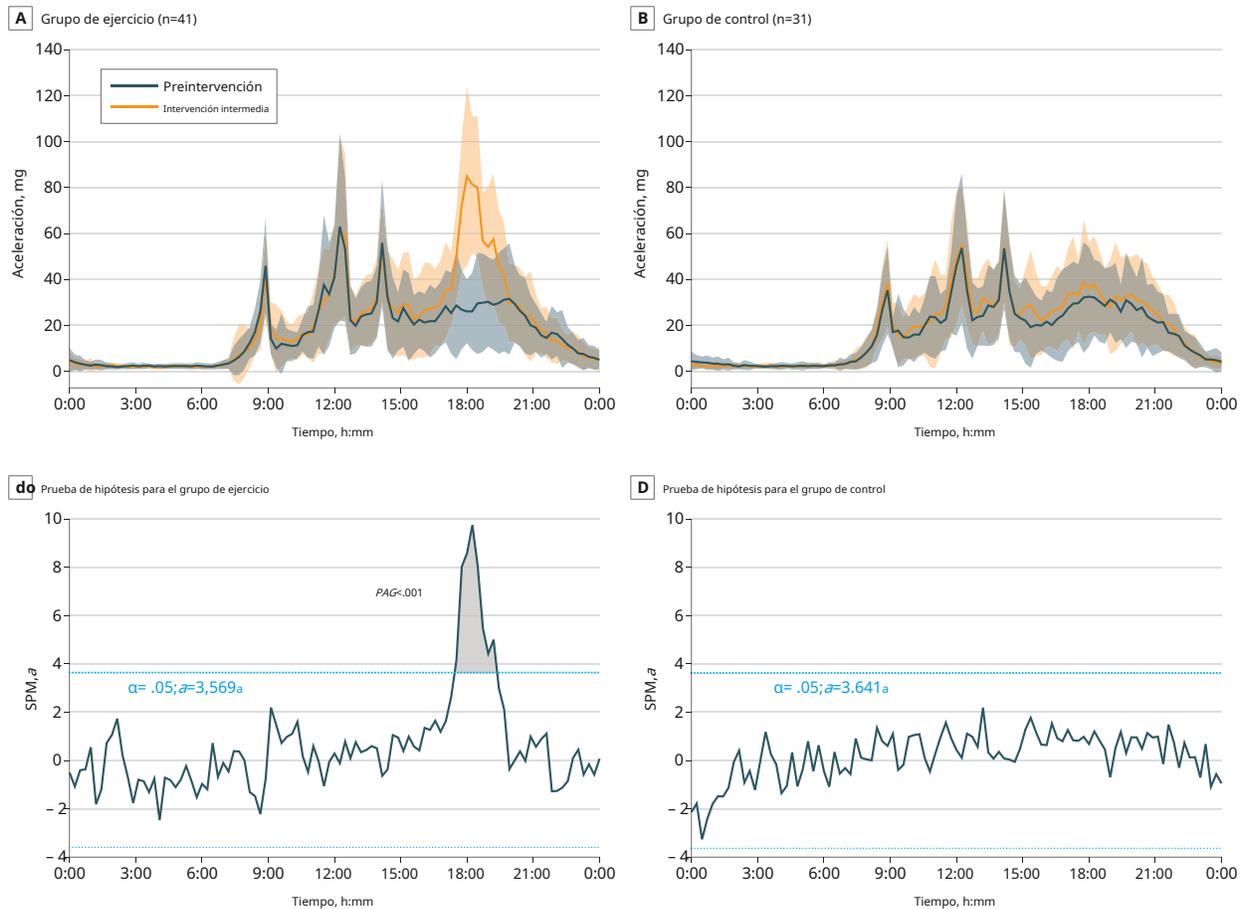
Observamos una intensidad de frecuencia cardíaca media (DE) de 138 (8) pulsaciones por minuto por sesión, lo que indica que los niños entrenaron durante más de 1 hora al 70% de su frecuencia cardíaca máxima. Los niños acumularon, en promedio, el 38% del tiempo de la sesión (es decir, 25 minutos) a intensidades altas por encima del 80% de su frecuencia cardíaca máxima (eFigura 7 enSuplemento 2). La distribución de la asistencia a las sesiones de ejercicio se presenta en la eFigura 8 enSuplemento 2.

Discusión

Resumen de los principales hallazgos

El ensayo ActiveBrains contribuye a la literatura existente con varios hallazgos novedosos. En primer lugar, un programa de ejercicios aeróbicos y de resistencia de 20 semanas que incluía ejercicios de coordinación, realizados a una intensidad relativamente alta durante más de 1 hora, 3 veces por semana, mejoró la inteligencia total y cristalizada, la flexibilidad cognitiva y el rendimiento académico entre los niños con sobrepeso u obesidad. Nos basamos principalmente en los efectos observados en la inteligencia, en particular en la inteligencia cristalizada, así como en la flexibilidad cognitiva, dados los tamaños de efecto y la importancia observados.⁵⁷De hecho, los efectos sobre los resultados de inteligencia y flexibilidad cognitiva fueron consistentes y sólidos, y persistieron después de aplicar múltiples correcciones de pruebas a los resultados por protocolo y por intención de tratar.

Figura 5. Comparación de los patrones de actividad física de 24 horas derivados de aceleraciones brutas agregadas medidas con un acelerómetro colocado en la cadera derecha al inicio y en la mitad del programa de ejercicios



SPM indica mapeo paramétrico estadístico.

aLa prueba de hipótesis muestra el umbral en el que existen diferencias significativas en los patrones de actividad física entre el período inicial y el período de ejercicio.

Sin embargo, el programa de ejercicios tuvo un efecto nulo en otras funciones ejecutivas, como la inhibición y la memoria de trabajo, así como en el volumen del hipocampo. En segundo lugar, no observamos ningún efecto significativo del ejercicio en los resultados de la resonancia magnética cerebral estudiados (análisis planificados a posteriori) y, por lo tanto, no pudimos investigar si los cambios en la estructura o función cerebral mediaron los efectos observados en los resultados conductuales. En tercer lugar, los efectos del programa de ejercicios en la inteligencia cristalizada, el rendimiento académico total y la resolución de problemas fueron parcialmente mediados por las mejoras inducidas por el ejercicio en CRF (10%-20%; pequeño efecto de mediación). Las mejoras en la mayoría de los indicadores de rendimiento académico fueron mediadas en gran medida (aproximadamente 30%-39% de la mediación) por los cambios inducidos por el ejercicio en la flexibilidad cognitiva. En cuarto lugar, los efectos del ejercicio fueron bastante consistentes en los subgrupos de sexo, edad, nivel socioeconómico y nivel inicial para la mayoría de los resultados del estudio, excepto para los resultados de inteligencia que mejoraron más para los niños que para las niñas. La interpretación de los resultados debe hacerse junto con las características de la intervención de ejercicios. El eAppendix en [Suplemento 2](#) Incluye una discusión extensa sobre: (1) los potenciales efectos compensatorios o de contaminación, (2) la combinación de entrenamiento aeróbico y de resistencia que además incluía un componente coordinativo y demandas cognitivas, (3) un análisis exhaustivo de la intensidad del programa de ejercicios, y (4) una interpretación de las diferentes pruebas de flexibilidad cognitiva utilizadas en este estudio y los mediadores y moderadores de los principales efectos del ejercicio (análisis secundarios).

Hallazgos en el contexto de estudios previos

Hasta donde sabemos, solo tres estudios de intervención previos han probado los efectos a largo plazo del ejercicio sobre la inteligencia en una población pediátrica. El primer estudio probó los efectos de un programa de yoga, pero no incluyó un grupo de control.⁵⁸ El segundo estudio, un ensayo aleatorio basado en grupos escolares, investigó los efectos de las sesiones diarias de educación física, aunque la mitad del grupo "de control" también recibió educación física diaria durante la mitad del período de intervención.⁵⁹ El tercer estudio fue un estudio piloto escolar realizado por nuestro grupo entre sólo 17 a 20 niños por grupo de estudio, que investigó los efectos de aumentar la intensidad y el número de sesiones de educación física por semana.⁶⁰ Las conclusiones de estos tres estudios sugieren los posibles beneficios del ejercicio. Dada la naturaleza preliminar de estos hallazgos y las limitaciones asociadas con el diseño del estudio y el tamaño de la muestra, el RCT de ActiveBrains proporciona la evidencia más sólida hasta el momento sobre un efecto causal del ejercicio físico sobre la inteligencia, en particular la inteligencia cristalizada, que se denota por un gran efecto (es decir,

- 9 puntos en la puntuación típica de la prueba, equivalentes a 0,7 DE, con mayores mejoras en el grupo de ejercicio). Aunque la evidencia previa sobre los efectos a largo plazo del ejercicio sobre la inteligencia es limitada, hay más evidencia disponible sobre los efectos a corto plazo del ejercicio.⁶¹ El Informe de asesoramiento científico de las Pautas de actividad física de 2018 concluyó que hay evidencia que respalda una mejora en la inteligencia cristalizada en los niños después de una sola sesión de actividad física moderada a vigorosa.^{8,61} Lo que apoya nuestros hallazgos.

Nuestro programa de ejercicios demostró un efecto de tamaño medio en la flexibilidad cognitiva y efectos nulos para las demás funciones ejecutivas evaluadas. Las revisiones sistemáticas y los metanálisis de niños y adolescentes han informado de un efecto significativo del ejercicio en la función ejecutiva general.⁶²⁻⁶⁶ Las conclusiones de las revisiones son mixtas en lo que respecta a las dimensiones específicas de este complejo constructo cognitivo. La diversidad de tareas cognitivas utilizadas y las diferentes características de las intervenciones de ejercicio (es decir, modo, frecuencia, duración de la sesión, intensidad y duración de la intervención) en los distintos estudios podrían explicar las discrepancias entre los estudios individuales. Sin embargo, la evidencia acumulada recientemente sintetizada respalda un efecto positivo del ejercicio en las tres funciones ejecutivas básicas: memoria de trabajo, inhibición y flexibilidad cognitiva.⁶⁶

Nuestros hallazgos están en línea con la literatura existente sobre el rendimiento académico, en la que el ejercicio ha mejorado específicamente las matemáticas en mayor medida que otras materias académicas, incluido el lenguaje.^{67,68} En nuestro estudio, el efecto positivo del ejercicio en las matemáticas se explicó en parte por las mejoras inducidas por el ejercicio en la inteligencia fluida, y el efecto positivo del ejercicio en el rendimiento académico total, la resolución de problemas y las habilidades académicas se vio mediado en parte por las mejoras inducidas por el ejercicio en la flexibilidad cognitiva. Estos hallazgos sugieren que esta

La función ejecutiva juega un papel importante en el rendimiento académico⁶⁹⁻⁷¹ y contribuye a nuestra comprensión de los procesos cognitivos mediante los cuales el ejercicio mejora el rendimiento académico.

Nuestro programa de ejercicios no tuvo efectos significativos en ninguno de los resultados de la resonancia magnética estudiados. En el apéndice electrónico se puede encontrar más información sobre si la duración de la intervención o el tamaño de la muestra podrían haber influido en estos resultados nulos. [Suplemento 2](#) Estudios previos (4 ensayos realizados en EE. UU. y 1 en Canadá) realizados entre niños observaron efectos positivos del ejercicio sobre la integridad de la materia blanca,^{12,14,20} hallazgos de resonancia magnética funcional basados en tareas,¹⁶⁻¹⁸ y sincronía en estado de reposo.¹⁵ Creemos que algunos resultados cerebrales de los participantes del grupo de ejercicio deben haber cambiado para explicar los cambios observados en la inteligencia y la flexibilidad cognitiva. Esos cambios podrían haber ocurrido a nivel molecular o celular o podrían haberse debido a otras características que no se detectaron con las técnicas de neuroimagen utilizadas en este estudio. Los continuos avances en el campo de la neuroimagen abrirán nuevas vías para el estudio de los efectos del ejercicio en el cerebro humano.

Limitaciones

Este estudio tiene algunas limitaciones. Se desconoce si se necesitan intervenciones más prolongadas para provocar cambios estructurales o funcionales en el cerebro (Apéndice electrónico en [Suplemento 2](#)). Además, aunque se adoptaron varios protocolos para reducir el riesgo de sesgo en las evaluaciones (por ejemplo, aleatorización después de la evaluación inicial y el uso de entrenadores físicos que no participaron en las evaluaciones), algunos de los miembros del personal del proyecto involucrados en las evaluaciones posteriores al ejercicio no estaban cegados a la asignación de grupos por razones prácticas. Incluso suponiendo una atenuación de los tamaños del efecto después de corregir el sesgo potencial, creemos que los principales efectos del ejercicio sobre la inteligencia y la flexibilidad cognitiva seguirían siendo significativos dada su magnitud, lo que hace que una atenuación del tamaño del efecto sea poco probable que cambie las conclusiones del estudio. Además, se desconoce en qué medida los hallazgos de nuestro estudio realizado entre niños con sobrepeso u obesidad se aplican a otras poblaciones.

Conclusiones

Los hallazgos de este ensayo clínico aleatorio respaldan que la inteligencia y la flexibilidad cognitiva mejoran después de 20 semanas de ejercicio de intensidad relativamente alta durante más de 1 hora, 3 veces por semana y durante un período sensible de la vida (es decir, la infancia) cuando el cerebro está creciendo y desarrollándose. No pudimos detectar qué cambios estructurales o funcionales en el cerebro pueden ser la base de estos efectos del ejercicio sobre los resultados conductuales. También observamos que los cambios inducidos por el ejercicio en la CRF explican algunos de los beneficios del ejercicio, aunque no la mayoría de ellos. Además, nuestro programa de ejercicios tuvo pequeños efectos en los indicadores de rendimiento académico (es decir, matemáticas, resolución de problemas y rendimiento académico total) que fueron mediados por mejoras inducidas por el ejercicio en la flexibilidad cognitiva y la inteligencia fluida; estos efectos fueron consistentes con los descritos en la literatura existente. Finalmente, los efectos de la intervención fueron generalmente consistentes entre los moderadores estudiados, excepto por mejoras más grandes en los resultados de inteligencia entre los niños en comparación con las niñas. Este ensayo proporciona una investigación integral de los efectos del ejercicio sobre los resultados cognitivos y el rendimiento académico durante la infancia en presencia de sobrepeso u obesidad. Sin embargo, los mecanismos cerebrales subyacentes a esos efectos siguen siendo desconocidos.

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Aceptado para publicación: 5 de julio de 2022.

Publicado: 30 de agosto de 2022. doi:10.1001/jamanetworkopen.2022.27893

Acceso abierto: Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la [Licencia CC-BY](#). © 2022 Ortega FB et al. *Red JAMA abierta*.

Autor correspondiente: Francisco B. Ortega, PhD, Departamento de Educación Física y Deporte, Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Granada, Carretera de Alfacar s/n, Granada 18071, España (ortegaf@ugr.es).

Afiliaciones de autores: Grupo de investigación PROFITH "PROMoción de la condición física y la salud a través de la actividad física", Instituto Universitario de Investigación en Deporte y Salud (iMUDS), Departamento de Educación Física y Deportes, Facultad de Ciencias del Deporte, Universidad de Granada, Granada, España (Ortega, Mora-Gonzalez, Cadenas-Sanchez, Esteban-Cornejo, Migueles, Solis-Urra, Rodríguez-Ayllon, Molina-García, Ruiz, Erickson); Facultad de Ciencias del Deporte y la Salud, Universidad de Jyväskylä, Jyväskylä, Finlandia (Ortega); Departamento de Biociencias y Nutrición, Instituto Karolinska, Huddinge, Suecia (Ortega, Migueles, Ruiz); Departamento de Salud, Medicina y Ciencias del Cuidado, Universidad de Linköping, Linköping, Suecia (Migueles); Facultad de Educación y Ciencias Sociales, Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile (Solis-Urra); Departamento de Personalidad, Evaluación y Tratamiento Psicológico y Centro de Investigación Mente, Cerebro y Conducta (CIMCYC), Universidad de Granada, Granada, España (Verdejo-Román); Laboratorio de Neurociencia Cognitiva y Computacional (UCM-UPM), Centro de Tecnología Biomédica (CTB), Madrid, España (Verdejo-Román); Departamento de Epidemiología, Centro Médico Universitario Erasmus MC, Róterdam, Países Bajos (Rodríguez-Ayllon); Instituto de Investigación Biosanitaria, Servicio de Medicina Física y Rehabilitación, Hospital Universitario Virgen de las Nieves, Granada, España (Molina-García); Instituto de Investigación Biosanitaria, IBS, Granada, Granada, España (Ruiz); Centro de Investigación Social y Sanitaria, Universidad de Castilla La Mancha, Cuenca, España (Martínez-Vizcaíno); Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Chile, Talca, Chile (Martínez-Vizcaíno); Departamento de Psicología, Universidad de Northeastern, Boston, Massachusetts (Hillman, Kramer); Departamento de Fisioterapia, Ciencias del Movimiento y la Rehabilitación, Universidad del Noreste, Boston, Massachusetts (Hillman); Laboratorio de Envejecimiento Cerebral y Salud Cognitiva, Departamento de Psicología, Universidad de Pittsburgh, Pittsburgh, Pensilvania (Erickson); Facultad de Ciencias, Salud, Ingeniería y Educación, Universidad Murdoch, Perth, Australia Occidental (Erickson); Instituto Beckman, Universidad de Illinois en Urbana-Champaign, Champaign (Kramer); Departamento de Ciencias de la Salud e Instituto para la Innovación y el Desarrollo Sostenible de la Cadena Alimentaria (IS-FOOD), Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España (Labayen); IdiSNA, Instituto Navarro de Investigación en Salud, Pamplona, España (Labayen); Facultad de Psicología, Universidad de Granada, Granada, España (Catena).

Contribuciones del autor: Los doctores Ortega y Mora-González tuvieron acceso total a todos los datos del estudio y son responsables de la integridad de los datos y de la precisión de su análisis. Los doctores Ortega y Mora-González contribuyeron en igualdad de condiciones como coautores principales.

Concepto y diseño: Ortega, Cadenas-Sánchez, Esteban-Cornejo, Migueles, Ruiz, Martínez-Vizcaíno, Labayen, Catena.

Adquisición, análisis o interpretación de datos: Ortega, Mora-González, Cadenas-Sánchez, Esteban-Cornejo, Migueles, Solís-Urra, Verdejo-Román, Rodríguez-Ayllon, Molina-García, Hillman, Erickson, Kramer, Catena.

Redacción del manuscrito: Ortega, Mora-González, Cadenas-Sánchez, Esteban-Cornejo, Migueles, Rodríguez-Ayllón.

Revisión crítica del manuscrito para contenido intelectual importante: Cadenas-Sánchez, Esteban-Cornejo, Migueles, Solís-Urra, Verdejo-Román, Rodríguez-Ayllón, Molina-García, Ruiz, Martínez-Vizcaíno, Hillman, Erickson, Kramer, Labayen, Catena.

Análisis estadístico: Ortega, Mora-González, Cadenas-Sánchez, Esteban-Cornejo, Migueles, Solís-Urra, Verdejo-Román, Rodríguez-Ayllón, Molina-García, Martínez-Vizcaíno, Catena.

Financiación obtenida: Ortega, Ruiz.

SopORTE administrativo, técnico o material: Ortega, Mora-González, Verdejo-Román, Molina-García, Ruiz, Kramer, Catena.

Supervisión: Ortega, Esteban-Cornejo, Martínez-Vizcaíno, Hillman, Labayen, Catena.

Divulgaciones de conflictos de intereses: Ninguno reportado.

Financiación/Apoyo: Este estudio ha sido financiado con subvenciones del Ministerio de Economía y Competitividad de España (DEP2013-47540, DEP2016-79512-R y DEP2017-91544-EXP), el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), la Comisión Europea (667302) y la Fundación Alicia Koplowitz. Se ha obtenido financiación adicional del Programa Operativo Andaluz financiado con fondos FEDER (FEDER en español, B-CTS-355-UGR18). Este estudio ha sido financiado adicionalmente por la Universidad de Granada, Plan Propio de Investigación, becas para investigadores visitantes y acciones de excelencia: Unidades de Excelencia; Unidad de Excelencia en Ejercicio, Nutrición y Salud (UCEENS) y por la Junta de Andalucía, Consejería de Conocimiento, Investigación y Universidades y el FEDER (SOMM17/6107/UGR). Este estudio recibió además el apoyo de la Red de Investigación sobre Ejercicio y Salud EXERNET (DEP2005-00046/ACTI) y del Consejo Superior de Deportes (09/UPB/19). El Dr. Mora-González recibió el apoyo de subvenciones del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (FPU 14/06837) y de la Junta de Andalucía. El Dr. Cadenas-Sánchez recibió el apoyo de subvenciones del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (FPI-BES-2014-068829 y FJC2018-037925-I). El Dr. Esteban-Cornejo recibió el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (FJCI-2014-19563, IJCI-2017-33642 y RYC2019-027287-I). El Dr. Migueles recibió el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (FPU15/02645). El Dr. Solis-Urra recibió el apoyo de

El Dr. Verdejo-Román cuenta con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación de España (FJCI-2017-33396, IJC2019-041916-I). El Dr. Rodríguez-Ayllon ha recibido el apoyo de la Fundación Ramón Areces. Este trabajo forma parte de una tesis doctoral realizada en el Programa de Doctorado en Biomedicina de la Universidad de Granada, Granada, España.

Papel del financiador/patrocinador: Las fuentes de financiación no tuvieron ningún papel en el diseño y la realización del estudio; la recopilación, gestión, análisis e interpretación de los datos; la preparación, revisión o aprobación del manuscrito; y la decisión de enviar el manuscrito para su publicación.

Presentación de la reunión: Este artículo fue presentado en el 27º Congreso Anual del Colegio Europeo de Ciencias del Deporte; 31 de agosto de 2022; Sevilla, España.

Declaración de intercambio de datos: Ver [Suplemento 3](#).

Contribuciones adicionales: Los autores quieren agradecer a otros miembros que han contribuido al proyecto ActiveBrains: Abel Plaza-Florido, PhD, Alejandra Mena-Molina, MSc, Esther Ubago-Guisado, PhD, Ignacio Merino-De Haro, MD, PhD, Jose J. Gil -Cosano, PhD, Juan Pablo Zavala-Crichton, PhD, Lucia V. Torres-Lopez, PhD, Luis Gracia-Marco, PhD, y Miguel Martín-Matillas, PhD, Universidad de Granada, por su participación en las evaluaciones o intervención en este proyecto; Gala María Enriquez, MSc, José Gómez-Vida, MD, José Maldonado, MD, PhD, María José Heras, MSc, y María Victoria Escolano-Margarit, MD, PhD, Hospitales "San Cecilio" y "Virgen de las Nieves", para asistencia con el reclutamiento y selección de participantes; Carlos de Teresa, MD, PhD, Rosa María Lozano, MSc, y Socorro Navarrete, MD, Centro Andaluz de Medicina del Deporte (CAMD), por el apoyo médico y la realización de evaluaciones de salud física; María Elisa Merchan, PhD, Victoria Muñoz-Hernández, PhD, y Wendy Daniela Martínez-Ávila, PhD, Universidad de Granada, por su apoyo con las evaluaciones dietéticas y nutricionales del proyecto; Ángel Gil, PhD, Belén Pastor-Villaescusa, PhD, Concepción M. Aguilera, PhD, y María Cruz Ruiz, MSc, Centro de Investigación Biomédica, Universidad de Granada, por su apoyo en el procesamiento y almacenamiento de muestras de sangre; y Antonio Verdejo-García, PhD, Monash University, Catherine Davis, PhD, Medical College of Georgia, y Jose C. Perales, PhD, Universidad de Granada, por su aportación al diseño y concepción del proyecto, especialmente en las fases iniciales. Ninguna de estas personas recibió compensación por sus contribuciones. También agradecemos a todos los niños y sus familias por participar en este ensayo clínico.

REFERENCIAS

1. Organización Mundial de la Salud. Obesidad y sobrepeso: datos clave. Consultado el 1 de noviembre de 2021. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesidad-y-sobrepeso>
2. Ou X, Andres A, Pivik RT, Cleves MA, Badger TM. Diferencias en la materia gris y blanca del cerebro en niños obesos y con peso normal sano. *Imágenes por resonancia magnética J*. 2015;42(5):1205-1213. [10.1002/jmri.24912](https://doi.org/10.1002/jmri.24912)
3. Bauer CCC, Moreno B, González-Santos L, Concha L, Barquera S, Barrios FA. El sobrepeso y la obesidad infantil se asocian con un menor rendimiento cognitivo ejecutivo y alteraciones cerebrales: un estudio de imágenes por resonancia magnética en niños mexicanos. *Obesidad pediátrica*. 2015;10(3):196-204. [10.1111/ijpo.241](https://doi.org/10.1111/ijpo.241)
4. Esteban-Cornejo I, Ortega FB, Catena A. Las perspectivas neuronales sobre el desarrollo del control cognitivo durante la infancia y la adolescencia deben tener en cuenta cómo la obesidad afecta el desarrollo cerebral. *Acta Paediatr*. 2018;107(4):720-721. [10.1111/apa.14200](https://doi.org/10.1111/apa.14200)
5. Pareja-Galeano H, Garatachea N, Lucia A. El ejercicio como polipíldora para enfermedades crónicas. *Prog Mol Biol Traducción Ciencia*. 2015;135:497-526. [10.1016/bs.pmbts.2015.07.019](https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2015.07.019)
6. Pedersen BK, Saltin B. El ejercicio como medicina: evidencia para prescribir ejercicio como terapia en 26 enfermedades crónicas diferentes. *Scand J Med Sci Deportes*. 2015;25(suppl 3):1-72. [doi:10.1111/sms.12581](https://doi.org/10.1111/sms.12581)
7. Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D, et al. Actividad física, aptitud física, función cognitiva y rendimiento académico en niños: una revisión sistemática. *Ejercicio deportivo de ciencias médicas*. 2016;48(6):1197-1222. [10.1249/MS.0000000000000901](https://doi.org/10.1249/MS.0000000000000901)
8. Erickson KI, Hillman C, Stillman CM, et al; Comité Asesor de las Pautas de Actividad Física de 2018. Actividad física, cognición y resultados cerebrales: una revisión de las Pautas de Actividad Física de 2018. *Ejercicio deportivo de ciencias médicas*. 2019;51(6):1242-1251. [10.1249/MS.0000000000001936](https://doi.org/10.1249/MS.0000000000001936)
9. Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Sea inteligente, ejercite su corazón: efectos del ejercicio en el cerebro y la cognición. *Revista Nacional de Neurología*. 2008;9(1):58-65. [10.1038/nrn2298](https://doi.org/10.1038/nrn2298)
10. Horn JL. Organización de las capacidades y desarrollo de la inteligencia. *Psicología Rev*. 1968;75(3):242-259. [10.1037/h0025662](https://doi.org/10.1037/h0025662)
11. Sauce B, Matzel LD. La paradoja de la inteligencia: la heredabilidad y la maleabilidad coexisten en una interacción oculta entre genes y ambiente. *Toro psicópata*. 2018;144(1):26-47. [10.1037/bul0000131](https://doi.org/10.1037/bul0000131)
12. Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Kienzler C, et al. La actividad física aumenta la microestructura de la sustancia blanca en los niños. *Neurociencia frontal*. 2018;12:950. [10.3389/fnins.2018.00950](https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00950)

13. Krafft CE, Schaeffer DJ, Schwarz NF, et al. La mejora de la integridad de la sustancia blanca frontoparietal en niños con sobrepeso está asociada con la asistencia a un programa de ejercicios después de la escuela. *Desarrollo de neurociencia*. 2014;36(1):1-9. [10.1159/000356219](https://doi.org/10.1159/000356219)
14. Schaeffer DJ, Krafft CE, Schwarz NF, et al. Una intervención de ejercicio de 8 meses altera la integridad de la sustancia blanca frontotemporal en niños con sobrepeso. *Psico fisiología*. 2014;51(8):728-733. [10.1111/psyp.12227](https://doi.org/10.1111/psyp.12227)
15. Krafft CE, Pierce JE, Schwarz NF, et al. Una intervención de ejercicio controlada y aleatorizada de ocho meses altera la sincronía del estado de reposo en niños con sobrepeso. *Neurociencia*. 2014;256:445-455. doi:[10.1016/j.neurociencia.2013.09.052](https://doi.org/10.1016/j.neurociencia.2013.09.052)
16. Chaddock-Heyman L, Erickson KI, Voss MW, et al. Los efectos de la actividad física en la activación de la resonancia magnética funcional asociada con el control cognitivo en niños: una intervención controlada aleatorizada. *Neurociencia del zumbido frontal*. 2013;7:72. [10.3389/fnhum.2013.00072](https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00072)
17. Davis CL, Tomporowski PD, McDowell JE, et al. El ejercicio mejora la función ejecutiva y el rendimiento y altera la activación cerebral en niños con sobrepeso: un ensayo controlado aleatorizado. *Psicología de la salud*. 2011;30(1):91-98. [10.1037/a0021766](https://doi.org/10.1037/a0021766)
18. Krafft CE, Schwarz NF, Chi L, et al. Un ensayo de ejercicio controlado aleatorio de 8 meses altera la activación cerebral durante tareas cognitivas en niños con sobrepeso. *Obesidad (Silver Spring)*. 2014;22(1):232-242. [10.1002/oby.20518](https://doi.org/10.1002/oby.20518)
19. Xiong X, Zhu LN, Dong XX, Wang W, Yan J, Chen AG. La intervención con ejercicios aeróbicos altera la función ejecutiva y la integridad de la materia blanca en niños sordos: un estudio controlado aleatorizado. *Plasmoneuropatías*. 2018;2018:3735208. doi:[10.1155/2018/3735208](https://doi.org/10.1155/2018/3735208)
20. Riggs L, Piscione J, Laughlin S, et al. Entrenamiento físico para la recuperación neuronal en una muestra restringida de sobrevivientes de tumores cerebrales pediátricos: un ensayo clínico controlado con cruce de entrenamiento versus ningún entrenamiento. *Neurología Oncológica*. 2017;19(3):440-450.
21. Wassenaar TM, Williamson W, Johansen-Berg H, et al. Una evaluación crítica de revisiones sistemáticas que evalúan el efecto de la actividad física crónica en el rendimiento académico, la cognición y el cerebro en niños y adolescentes: una revisión sistemática. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2020;17(1):79. [10.1186/s12966-020-00959-y](https://doi.org/10.1186/s12966-020-00959-y)
22. Valkenborghs SR, Noetel M, Hillman CH, et al. El impacto de la actividad física en la estructura y función cerebral en jóvenes: una revisión sistemática. *Pediatría*. 2019;144(4):e20184032. doi:[10.1542/peds.2018-4032](https://doi.org/10.1542/peds.2018-4032)
23. Rendeiro C, Rhodes JS. Una nueva perspectiva del hipocampo en el origen de las interacciones ejercicio-cerebro. *Estructura y función del cerebro*. 2018;223(6):2527-2545. [10.1007/s00429-018-1665-6](https://doi.org/10.1007/s00429-018-1665-6)
24. Firth J, Stubbs B, Vancampfort D, et al. Efecto del ejercicio aeróbico sobre el volumen del hipocampo en humanos: una revisión sistemática y metanálisis. *Neuroimage*. 2018;166:230-238. [10.1016/j.neuroimage.2017.11.007](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.007)
25. Wilckens KA, Stillman CM, Waiwood AM, et al. Las intervenciones con ejercicios preservan el volumen del hipocampo: un metanálisis. *Hipocampo*. 2021;31(3):335-347. [10.1002/hipo.23292](https://doi.org/10.1002/hipo.23292)
26. Cadenas-Sánchez C, Mora-González J, Migueles JH, et al. Un ensayo controlado aleatorio basado en ejercicio sobre el cerebro, la cognición, la salud física y la salud mental en niños con sobrepeso/obesidad (proyecto ActiveBrains): fundamento, diseño y métodos. *Ensayos clínicos de Contemp*. 2016;47:315-324. [10.1016/j.cct.2016.02.007](https://doi.org/10.1016/j.cct.2016.02.007)
27. Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, et al. El volumen de los ganglios basales está asociado con la aptitud aeróbica en niños preadolescentes. *Desarrollo de neurociencia*. 2010;32(3):249-256. [10.1159/000316648](https://doi.org/10.1159/000316648)
28. Chaddock L, Erickson KI, Prakash RS, et al. Una investigación mediante neuroimagen de la asociación entre la aptitud aeróbica, el volumen del hipocampo y el rendimiento de la memoria en niños preadolescentes. *Res cerebral*. 2010;1358:172-183. [10.1016/j.brainres.2010.08.049](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.08.049)
29. Santana CCA, Azevedo LB, Cattuzzo MT, Hill JO, Andrade LP, Prado WL. Aptitud física y rendimiento académico en jóvenes: una revisión sistemática. *Scand J Med Sci Deportes*. 2017;27(6):579-603. [10.1111/sms.12773](https://doi.org/10.1111/sms.12773)
30. Marques A, Santos DA, Hillman CH, Sardinha LB. ¿Cómo se relaciona el rendimiento académico con la aptitud cardiorrespiratoria, la actividad física autoinformada y la actividad física informada objetivamente?: una revisión sistemática en niños y adolescentes de 6 a 18 años. *Br J Medicina Deportiva*. 2018;52(16):1039. [10.1136/bjsports-2016-097361](https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097361)
31. Esteban-Cornejo I, Cadenas-Sánchez C, Contreras-Rodríguez O, et al. Un enfoque volumétrico del cerebro completo en niños con sobrepeso/obesidad: examen de la asociación con diferentes componentes de la aptitud física y el rendimiento académico: el proyecto ActiveBrains. *Neuroimage*. 2017;159:346-354. [10.1016/j.neuroimage.2017.08.011](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.08.011)
32. Esteban-Cornejo I, Mora-Gonzalez J, Cadenas-Sanchez C, et al. Fitness, grosor cortical y área de superficie en niños con sobrepeso/obesidad: el papel mediador de la composición corporal y su relación con la inteligencia. *Neuroimage*. 2019;186:771-781. [10.1016/j.neuroimage.2018.11.047](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.11.047)
33. Esteban-Cornejo I, Stillman CM, Rodriguez-Ayllon M, et al. Aptitud física, conectividad funcional hipocampal y rendimiento académico en niños con sobrepeso/obesidad: el proyecto ActiveBrains. *Cerebro Comportamiento Inmunológico*. 2021;91:284-295. doi:[10.1016/j.bbi.2020.10.006](https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.10.006)

34. Cadenas-Sanchez C, Migueles JH, Erickson KI, Esteban-Cornejo I, Catena A, Ortega FB. ¿Los niños más en forma tienen cerebros más grandes? *Scand J Med Sci Deportes*. 2020;30(12): 2498-2502. doi:10.1111/sms.13824
35. Mora-Gonzalez J, Esteban-Cornejo I, Cadenas-Sanchez C, et al. Aptitud física, actividad física y función ejecutiva en niños con sobrepeso y obesidad. *J Pediatr*. 2019;208:50-56. doi:10.1016/j.jpeds.2018.12.028
36. Ortega FB, Campos D, Cadenas-Sanchez C, et al. Aptitud física y formas de las estructuras cerebrales subcorticales en niños. *Br J Nutrición*. 2019;122(s1):S49-S58. doi:10.1017/S0007114516001239
37. Cadenas-Sanchez C, Migueles JH, Esteban-Cornejo I, et al. Aptitud física, actividad física y rendimiento académico en niños con sobrepeso/obesidad. *J Ciencia del Deporte*. 2020;38(7):731-740. doi:10.1080/02640414.2020.1729516
38. Etnier JL, Nowell PM, Landers DM, Sibley BA. Una metarregresión para examinar la relación entre la aptitud aeróbica y el rendimiento cognitivo. *Res. cerebral Rev*. 2006;52(1):119-130. doi:10.1016/j.brainresrev.2006.01.002
39. Roth G, Dicke U. Evolución del cerebro y la inteligencia. *Tendencias Cogn Sci*. 2005;9(5):250-257. doi:10.1016/j.tics.2005.03.005
40. Kane MJ, Engle RW. El papel de la corteza prefrontal en la capacidad de memoria de trabajo, la atención ejecutiva y la inteligencia fluida general: una perspectiva de diferencias individuales. *Toro psicótico Rev*. 2002;9(4):637-671. doi:10.3758/BF03196323
41. Kim C, Johnson NF, Cilles SE, Gold BT. Mecanismos comunes y distintos de flexibilidad cognitiva en la corteza prefrontal. *Revista Neurosci*. 2011;31(13): 4771-4779. doi:10.1523/JNEUROSCI.5923-10.2011
42. Ludyga S, Gerber M, Pühse U, Looser VN, Kamijo K. Revisión sistemática y metanálisis que investiga los moderadores de los efectos a largo plazo del ejercicio sobre la cognición en individuos sanos. *Comportamiento natural*. 2020;4(6): 603-612. doi:10.1038/s41562-020-0851-8
43. Davis CL, Pollock NK, Waller JL, et al. Dosis de ejercicio y riesgo de diabetes en niños con sobrepeso y obesos: un ensayo controlado aleatorizado. *JAMA*. 2012;308(11):1103-1112. doi:10.1001/2012.jama.10762
44. Kaufman A, Kaufman N. *Manual breve de la prueba de inteligencia de Kaufman*. Servicio Americano de Orientación; 1990.
45. Delis D, Kaplan E, Kramer J. *Sistema de función ejecutiva Delis-Kaplan (D-KEFS)*. La Corporación Psicológica; 2001.
46. Homack S, Lee D, Riccio CA. Revisión de la prueba: Sistema de función ejecutiva Delis-Kaplan. *J Clin Exp Neuropsychol*. 2005;27(5):599-609. doi:10.1080/13803390490918444
47. Swanson J. El sistema de función ejecutiva Delis-Kaplan: una revisión. *¿Puede J Sch Psychol?*. 2005;20(1-2):117-128. doi:10.1177/0829573506295469
48. Robinson JL, Bearden CE, Monkul ES, et al. Desregulación frontotemporal en pacientes bipolares en remisión: un estudio de fMRI de no coincidencia tardía con la muestra (DNMS). *Trastorno bipolar*. 2009;11(4):351-360. doi:10.1111/j.1399-5618.2009.00703.x
49. McGrew K, Woodcock R. *Manual técnico de Woodcock-Johnson III*. Compañía editorial Riverside; 2001.
50. Malina RM, Rogol AD, Cumming SP, Coelho e Silva MJ, Figueiredo AJ. Maduración biológica de atletas jóvenes: evaluación e implicaciones. *Br J Medicina Deportiva*. 2015;49(13):852-859. doi:10.1136/bjsports-2015-094623
51. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, et al. Mejora de un modelo de predicción de la madurez somática. *Ejercicio deportivo de ciencias médicas*. 2015;47(8):1755-1764. doi:10.1249/MSS.0000000000000588
52. Merino-De Haro I, Mora-Gonzalez J, Cadenas-Sanchez C, et al; Grupo del Proyecto PREFIT. Un estatus socioeconómico más alto se relaciona con niveles más saludables de obesidad y condición física ya entre los 3 y los 5 años de edad: el Proyecto PREFIT. *J Ciencia del Deporte*. 2019;37(12):1327-1337. doi:10.1080/02640414.2018.1558509
53. Migueles JH, Cadenas-Sanchez C, Tudor-Locke C, et al. Comparabilidad de los puntos de corte publicados para la evaluación de la actividad física: implicaciones para la armonización de datos. *Scand J Med Sci Deportes*. 2019;29(4):566-574. doi:10.1111/sms.13356
54. Sink KM, Espeland MA, Castro CM, et al; investigadores del estudio LIFE. Efecto de una intervención de actividad física de 24 meses frente a educación para la salud sobre los resultados cognitivos en adultos mayores sedentarios: el ensayo aleatorizado LIFE. *JAMA*. 2015;314(8):781-790. doi:10.1001/jama.2015.9617
55. Nakagawa S, Cuthill IC. Tamaño del efecto, intervalo de confianza y significación estadística: una guía práctica para biólogos. *Biología Rev. Camb. Filosofía. Sociedad*. 2007;82(4):591-605. doi:10.1111/j.1469-185X.2007.00027.x
56. Benjamini Y, Hochberg Y. Controlar la tasa de descubrimientos falsos: un enfoque práctico y poderoso para pruebas múltiples. *Estadísticas de JR Soc B*. 1995;57(1):289-300. doi:10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x
57. Benjamin DJ, Berger JO, Johannesson M, et al. Redefinir la significación estadística. *Comportamiento natural*. 2018;2(1):6-10. origen:10.1038/s41562-017-0189-z

58. Chaya MS, Nagendra H, Selvam S, Kurpad A, Srinivasan K. Efecto del yoga en las capacidades cognitivas de escolares de entornos socioeconómicamente desfavorecidos: un estudio controlado aleatorio. *J. Alternativa Complement Med.* 2012;18(12):1161-1167. [10.1089/acm.2011.0579](https://doi.org/10.1089/acm.2011.0579)
59. Reed JA, Maslow AL, Long S, Hughey M. Examen del impacto de 45 minutos de educación física diaria en la capacidad cognitiva, el rendimiento físico y la composición corporal de los jóvenes afroamericanos. *Ley de Salud J Phys.* 2013; 10(2):185-197. [10.1123/jpah.10.2.185](https://doi.org/10.1123/jpah.10.2.185)
60. Ardoz DNN, Fernández-Rodríguez JMM, Jiménez-Pavón D, Castillo R, Ruiz JRR, Ortega FBB. Una prueba de educación física mejora el rendimiento cognitivo y el rendimiento académico de los adolescentes: el estudio EDUFIT. *Scand J Med Sci Deportes.* 2014;24(1):e52-e61. [10.1111/sms.12093](https://doi.org/10.1111/sms.12093)
61. Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. Informe científico del Comité Asesor de Pautas de Actividad Física de 2018. Consultado el 1 de noviembre de 2021. https://health.gov/sites/default/files/2019-09/Informe_del_comité_asesor_PAG.pdf
62. Xue Y, Yang Y, Huang T. Efectos de las intervenciones de ejercicio crónico sobre la función ejecutiva entre niños y adolescentes: una revisión sistemática con metanálisis. *Br J Medicina Deportiva.* 2019;53(22):1397-1404. [10.1136/bjsports-2018-099825](https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-099825)
63. Martin A, Booth JN, Laird Y, Sproule J, Reilly JJ, Saunders DH. Actividad física, dieta y otras intervenciones conductuales para mejorar la cognición y el rendimiento escolar en niños y adolescentes con obesidad o sobrepeso. *Base de datos Cochrane Syst Rev.* 2018;3:CD009728.
64. de Greeff JW, Bosker RJ, Oosterlaan J, Visscher C, Hartman E. Efectos de la actividad física en las funciones ejecutivas, la atención y el rendimiento académico en niños preadolescentes: un metaanálisis. *J. Sci. Med. Deporte.* 2018;21(5):501-507. [10.1016/j.jsams.2017.09.595](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.595)
65. Álvarez-Bueno C, Pesce C, Cervero-Redondo I, Sánchez-López M, Martínez-Hortelano JA, Martínez-Vizcaíno V. El efecto de las intervenciones de actividad física en la cognición y la metacognición de los niños: una revisión sistemática y un metanálisis. *J Am Acad Psiquiatría infantil y adolescente.* 2017;56(9):729-738. [10.1016/j.jaac.2017.06.012](https://doi.org/10.1016/j.jaac.2017.06.012)
66. Liu S, Yu Q, Li Z, et al. Efectos de los ejercicios agudos y crónicos sobre la función ejecutiva en niños y adolescentes: una revisión sistemática y metanálisis. *Psicología del frente.* 2020;11:554915. doi:[10.3389/fpsyg.2020.554915](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.554915)
67. Singh AS, Saliassi E, van den Berg V, et al. Efectos de las intervenciones de actividad física en el rendimiento cognitivo y académico en niños y adolescentes: una nueva combinación de una revisión sistemática y recomendaciones de un panel de expertos. *Br J Medicina Deportiva.* 2019;53(10):640-647. [10.1136/bjsports-2017-098136](https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098136)
68. Álvarez-Bueno C, Pesce C, Cervero-Redondo I, Sánchez-López M, Garrido-Miguel M, Martínez-Vizcaíno V. Rendimiento académico y actividad física: un metanálisis. *Pediatría.* 2017;140(6):e20171498. doi:[10.1542/peds.2017-1498](https://doi.org/10.1542/peds.2017-1498)
69. Diamond A, Lee K. Intervenciones que han demostrado ayudar al desarrollo de la función ejecutiva en niños de 4 a 12 años. *Ciencia.* 2011;333(6045):959-964. [10.1126/ciencia.1204529](https://doi.org/10.1126/ciencia.1204529)
70. Best JR, Miller PH, Naglieri JA. Relaciones entre la función ejecutiva y el rendimiento académico de los niños de 5 a 17 años en una muestra nacional representativa y amplia. *Aprende a diferenciar entre individuos.* 2011;21(4):327-336. [10.1016/j.lindif.2011.01.007](https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.01.007)
71. Diamante A. Funciones ejecutivas. *Año Rev Psychol.* 2013;64:135-168. [10.1146/annurev-psych-113011-143750](https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750)

SUPLEMENTO 1.

Protocolo de ensayo y plan de análisis estadístico

SUPLEMENTO 2.

Métodos electrónicos.

Apéndice.

eReferencias.

- Figura 1.** Ilustración gráfica de los análisis principales planificados a priori del estudio, así como de los análisis exploratorios planificados a posteriori realizados sobre diferentes resultados de salud cerebral
- Figura 2.** Modelos de mediación de la inteligencia fluida y la flexibilidad cognitiva de los efectos de la intervención (es decir, ejercicio frente a control) en los resultados del rendimiento académico en niños con sobrepeso u obesidad
- Figura 3.** Una ilustración del análisis de la forma de las estructuras cerebrales subcorticales
- Figura 4.** Redes de covarianza estructural delineadas mediante análisis de factorización de matriz no negativa **Figura 5.** Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los principales resultados de salud cerebral según los niveles educativos de los padres (A), los niveles ocupacionales de los padres (B) y los niveles iniciales (C)

Figura 6. Comparación de los patrones de actividad física de 24 horas derivados de aceleraciones brutas agregadas (es decir, aceleraciones de la norma euclidiana menos uno) medidas con un acelerómetro colocado en la muñeca no dominante al inicio (es decir, línea negra) y en la mitad del programa de ejercicios (es decir, línea naranja) en los grupos de ejercicio y control

Figura 7. Gráficos de violín que caracterizan la intensidad del programa de ejercicios medidos mediante monitores de frecuencia cardíaca (FC)

Figura 8. Diagrama de caja que muestra la distribución de la asistencia al programa de ejercicios

Tabla 1. Características basales descriptivas de los participantes de ActiveBrains que cumplieron con los criterios de intención de tratar **Tabla electrónica 2.** Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa muscular y la grasa corporal **e/Puntuación posterior al ejercicio (es decir, e/Puntuación de cambio desde el inicio) Resultados de inteligencia y función ejecutiva**

Tabla 3. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la puntuación estándar y la puntuación bruta **e/Puntuación posterior al ejercicio (e/Puntuación de cambio desde el inicio) Resultados de desempeño académico (Prueba estandarizada Woodcock-Muñoz)**

Tabla 4. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa corporal (mm) **y e/Puntuaciones del volumen hipocampal después del ejercicio**

Tabla 5. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa corporal (mm) **y e/Puntuaciones de los resultados del volumen de materia gris de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla 6. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa corporal (mm) **y e/Puntuaciones de los resultados del espesor cortical de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla electrónica 7. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa corporal (mm) **y e/Puntuaciones de los resultados de la superficie de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla 8. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los valores β brutos **y e/Puntuaciones de conectividad funcional del hipocampo izquierdo con subregiones de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla 9. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los valores β brutos **y e/Puntuaciones de conectividad funcional del hipocampo anterior izquierdo con subregiones de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla 10. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los valores β brutos **y e/Puntuaciones de conectividad funcional del hipocampo posterior izquierdo con subregiones de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla electrónica 11. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los valores β brutos **y e/Puntuaciones de conectividad funcional del hipocampo derecho con subregiones de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla electrónica 12. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los valores β brutos **y e/Puntuaciones de conectividad funcional del hipocampo anterior derecho con subregiones de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla electrónica 13. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre los valores β brutos **y e/Puntuaciones de conectividad funcional del hipocampo posterior derecho con subregiones de la corteza prefrontal después del ejercicio**

Tabla electrónica 14. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa corporal (mm) **y e/Puntuaciones de volúmenes cerebrales subcorticales posteriores al ejercicio distintos del hipocampo**

Tabla electrónica 15. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa corporal (cm) **y e/Puntuaciones de volúmenes cerebrales totales después del ejercicio**

Tabla electrónica 16. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre las cargas brutas **y e/Puntuaciones de la red de covarianza estructural posterior al ejercicio**

Tabla electrónica 17. Efectos por protocolo del programa de ejercicios ActiveBrains sobre las cargas brutas **y e/Puntuaciones de aptitud cardiorrespiratoria posterior al ejercicio**

Tabla electrónica 18. Diferencias de intensidad según el sexo monitoreadas por la frecuencia cardíaca durante las sesiones de ejercicio

Tabla electrónica 19. Efectos de la intención de tratar del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la carne cruda **y e/Puntuaciones de inteligencia y función ejecutiva posteriores al ejercicio**

Tabla electrónica 20. Efectos por intención de tratar del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la puntuación estándar y la puntuación bruta **e/Puntuaciones de los resultados de rendimiento académico posteriores al ejercicio (prueba estandarizada Woodcock-Muñoz)**

Tabla electrónica 21. Efectos por intención de tratar del programa de ejercicios ActiveBrains sobre la masa muscular bruta (mm) **y e/Puntuaciones del volumen de materia gris del hipocampo después del ejercicio**

Tabla electrónica 22. Características descriptivas de los participantes de ActiveBrains que completaron el estudio (es decir, los que no abandonaron) y los que no completaron el estudio (es decir, los que abandonaron) al inicio del estudio

SUPLEMENTO 3.

Declaración de intercambio de datos