

Educación Física Escolar: Ciencia, Salud y Desarrollo Humano

Dennis Gregorio Contreras
Carlos Enrique Garcia Yerena
Ailin Orjuela Duarte

**Educación Física Escolar:
Ciencia, Salud y
Desarrollo Humano**

Educación Física Escolar: Ciencia, Salud y Desarrollo Humano
/ Dennis Gregorio Contreras, Carlos Enrique García
Yerena, Ailin Orjuela Duarte — Pamplona: Universidad
de Pamplona. 2026.

190 p. 17 cm x 24 cm

ISBN (Digital): 978-628-7937-13-0

© Universidad de Pamplona
© Sello Editorial Unipamplona
Sede Principal Pamplona, Km 1 Vía Bucaramanga-
Ciudad Universitaria. Norte de Santander, Colombia.
www.unipamplona.edu.co
Teléfono: 6075685303

Educación Física Escolar: Ciencia, Salud y Desarrollo Humano

Dennis Gregorio Contreras
Carlos Enrique García Yerena
Ailin Orjuela Duarte

ISBN (Digital): 978-628-7937-13-0
DOI: <https://doi.org/10.24054/wty42d54>
Primera edición julio de 2026
Colección Educación
© Sello Editorial Unipamplona

Rector: Ivaldo Torres Chávez Ph.D
Vicerrector de Investigaciones: Aldo Pardo García Ph.D

Jefe del Sello Editorial Unipamplona: Catherine Mojica Acevedo
Corrección de estilo: Andrea del Pilar Durán Jaimes
Diseño y Diagramación: Laura Angelica Buitrago Quintero

Diseño de cubierta: Autores.

Hecho el depósito que establece la ley. Todos los derechos reservados.
Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio, sin permiso del editor.



Educación Física Escolar: Ciencia, Salud y Desarrollo Humano

Dennis Gregorio Contreras
Carlos Enrique García Yerena
Ailin Orjuela Duarte



“Formando nuevas generaciones con
sello de excelencia comprometidos
con la transformación social de las
regiones y un país en paz”



Vicerrectoría de
INVESTIGACIONES
UNIPAMPLONA

Prólogo

El presente libro constituye una obra de referencia para comprender, desde una perspectiva científica y educativa, el papel central de la educación física en el desarrollo integral de niños y adolescentes. Su rigor conceptual y su estructura interdisciplinaria permiten analizar cómo la actividad física, el desarrollo motor, y la salud escolar convergen en un mismo propósito: promover bienestar, prevenir enfermedades y fortalecer competencias fundamentales a lo largo de la vida.

Los autores integran evidencia actualizada que destaca la urgencia de abordar el sedentarismo infantil, la disminución de la competencia motriz y el incremento de enfermedades metabólicas desde intervenciones escolares fundamentadas en la ciencia. La incorporación del modelo de desarrollo a largo plazo, la alfabetización motriz y las bases fisiológicas del ejercicio ofrece un marco sólido para diseñar programas educativos pertinentes, progresivos y sensibles al desarrollo.

Asimismo, el libro amplía la comprensión de la educación física al incluir temáticas emergentes como la relación entre ejercicio, función cerebral y rendimiento cognitivo, así como la actividad física en condiciones especiales de salud. Esta amplitud temática convierte la obra en un recurso valioso para docentes, investigadores y equipos directivos comprometidos con la formación integral.

En resumen, este texto brinda una mirada actual, crítica y fundamentada sobre cómo la escuela puede convertirse en un entorno estratégico para la promoción de hábitos saludables

y la construcción de sociedades más activas. Su lectura es una invitación a fortalecer el rol científico y pedagógico de la educación física en el ámbito escolar.

PhD. Diego Rafael La Rotta Villamizar
Cali (Colombia) 9 de diciembre del 2025

Resumen

El libro presenta una síntesis rigurosa e interdisciplinaria sobre los fundamentos biológicos, pedagógicos y sociales que sustentan la educación física en el ámbito escolar. A partir de evidencia científica actualizada, se examinan los componentes esenciales de la educación física de calidad, el desarrollo de la condición metabólica, y la importancia de las habilidades motoras fundamentales como base del aprendizaje y del bienestar infantil. Se profundiza en el modelo de desarrollo a largo plazo (LTAD), destacando su relevancia para optimizar el crecimiento, la maduración, la competencia motriz y la salud psicosocial.

El texto analiza el papel estratégico de la actividad física para prevenir la inactividad, la discapacidad pediátrica y el analfabetismo motor, proponiendo intervenciones basadas en entrenamiento neuromuscular integrador, fortalecimiento muscular, pausas activas y diseño curricular sensible al desarrollo. Asimismo, se abordan los efectos del ejercicio sobre la función cerebral, la neuroplasticidad y las funciones ejecutivas, así como su aplicación en condiciones de salud específicas como diabetes, síndrome de Down, sobrepeso y obesidad.

En ese sentido, la obra posiciona a la escuela como un escenario privilegiado para la promoción de la salud pública y el desarrollo integral.

Palabras claves: Educación Física, Competencia Motriz, Desarrollo Atlético a Largo Plazo (LTAD), Entrenamiento Neuromuscular, Salud Infantil, Neuroplasticidad

Abstract

The book presents a rigorous and interdisciplinary synthesis of the biological, pedagogical, and social foundations that underpin physical education in the school setting. Drawing on updated scientific evidence, it examines the essential components of quality physical education, the development of metabolic fitness, and the importance of fundamental motor skills as the basis for learning and child well-being. The text delves into the Long-Term Athlete Development (LTAD) model, highlighting its relevance for optimizing growth, maturation, motor competence, and psychosocial health.

It analyzes the strategic role of physical activity in preventing inactivity, pediatric dynapenia, and motor illiteracy, proposing interventions grounded in integrative neuromuscular training, muscular strengthening, active breaks, and developmentally sensitive curriculum design. Additionally, it addresses the effects of exercise on brain function, neuroplasticity, and executive functions, as well as its application in specific health conditions such as diabetes, Down syndrome, overweight, and obesity.

In this sense, the work positions the school as a privileged setting for the promotion of public health and comprehensive development.

Keywords: Physical Education, Motor Competence, Long-Term Athlete Development (LTAD), Neuromuscular Training, Child Health, Neuroplasticity.

ÍNDICE

PRÓLOGO	5
RESUMEN	7
ABSTRACT	9

19 CAPÍTULO I **LA EDUCACIÓN FÍSICA EN EL ÁMBITO ESCOLAR**

Introducción.....	19
Componentes esenciales de un programa de educación física de calidad	20
Estado actual de la educación física	21
El papel del docente de educación física	22
Contenido de Educación Física.....	23

27 CAPÍTULO II **CONDICIÓN METABÓLICA**

Introducción.....	27
Trifosfato de adenosina.....	28
Rutas metabólicas para la resíntesis de ATP durante el ejercicio.....	29
Metabolismo de los fosfágenos	30
Metabolismo de los hidratos de carbono	32
Energía a largo plazo: fosforilación oxidativa	33
Espectro energético del ejercicio.....	35

39 CAPÍTULO III **EL DESARROLLO MOTRIZ A LARGO PLAZO EN EL ÁMBITO ESCOLAR**

Introducción.....	39
¿Qué es LTAD?.....	42
El principio central de LTAD: salud y bienestar	43
Fundamentos: Habilidades motoras y disfrute	43
El sueño.....	45
Evaluación y seguimiento: No se puede gestionar lo que no se mide	45

47 CAPÍTULO IV **RECOMENDACIONES PARA LA PRÁCTICA ADECUADA DE EJERCICIO FÍSICO ESCOLAR**

Introducción.....	47
Triada de la inactividad física (siglas en inglés PIT).....	48
Estrategias fundamentales para mejorar la PIT	51
Alfabetización en habilidades de entrenamiento de la aptitud muscular.....	56

61 CAPÍTULO V FUERZA EN EL ÁMBITO ESCOLAR

Introducción	61
Beneficios del entrenamiento de la fuerza	64
Recomendaciones generales antes de iniciar el entrenamiento de fuerza	69
Implementación del entrenamiento de fuerza en contextos escolares	70
Programas efectivos: recomendaciones basadas en la evidencia	71
Beneficios cognitivos y académicos.....	73

75 CAPÍTULO VI LA CAPACIDAD CARDIORRESPIRATORIA

Introducción.....	75
Bases teóricas de la capacidad cardiorrespiratoria	77
Desarrollo evolutivo de la capacidad cardiorrespiratoria	79
La Capacidad Oxidativa.....	81
La Capacidad Glucolítica	82
Diseño de actividades para mejorar la capacidad cardiorrespiratoria	83
Protocolos y propuestas de actividades	85

89 CAPÍTULO VII VELOCIDAD

Introducción	89
La velocidad como habilidad fundamental del movimiento.....	89
Factores neurofisiológicos en el desarrollo de la velocidad durante la infancia ...	92
Entrenamiento de la velocidad durante la infancia	93

95 CAPÍTULO VIII PAUSAS ACTIVAS

Introducción.....	95
Efectos cognitivos de la actividad física en el aula	96
Integración de la actividad física en el currículo escolar	97
Descansos activos: Estrategia para combatir el sedentarismo	97
Impacto en el rendimiento académico	98
Intensidad de la actividad física y sus efectos en el aprendizaje	99
Consideraciones para la implementación de aulas activas	100
Beneficios sociales y emocionales de las aulas activas	101
Aulas activas y la promoción de estilos de vida saludables	102
Retos en la implementación de aulas activas	102
Sostenibilidad y escalabilidad de las aulas activas	103
Innovaciones en las aulas activas	104
Efectos de las aulas activas en la inclusión educativa	105
Impacto de los descansos activos en la salud mental y el bienestar emocional	106
El rol de los profesores en la implementación de descansos activos	107
Beneficios académicos de los descansos activos.....	108
Efectos en el comportamiento en el aula.....	109
Recomendaciones para la implementación de descansos activos	109

111 CAPÍTULO IX EJERCICIO FÍSICO E IMPACTO EN LA ESTRUCTURA CEREBRAL Y FUNCIONES EJECUTIVAS EN NIÑOS

Introducción.....	111
Mecanismos de plasticidad	115
Regiones del cerebro y sus funciones.....	118
Tipo, duración y volumen de AF.....	121

125 CAPÍTULO X DIABETES Y EJERCICIO

Introducción.....	125
Clasificación y fisiopatología	126
Diabetes mellitus tipo 1 (DM1).....	127
Diabetes idiopática.....	129
Diabetes mellitus tipo 2.....	129
Actividad física sistemática.....	130
Prescripción clínica del ejercicio.....	132
Fisiología clínica del ejercicio	135

137 CAPÍTULO XI SÍNDROME DE DOWN Y EJERCICIO

141 CAPÍTULO XII SOBREPESO, OBESIDAD Y EJERCICIO

Introducción.....	141
Dinámica del sobrepeso y la obesidad	143
Prevención del sobrepeso y la obesidad: Un enfoque por niveles	146
Diseño de intervenciones para la prevención del sobrepeso y la obesidad a lo largo de la vida.....	147
Recomendaciones de actividad física apropiadas para la edad.....	148
Recomendaciones para intervenciones escolares	151

REFERENCIAS.....	153
AUTORES	189

ÍNDICE

TABLAS

Tabla 1. Pilares y recomendaciones para el desarrollo del bienestar físico y psicosocial de los jóvenes.....	40
Tabla 2. Clasificación general de las habilidades motoras fundamentales (FMS).....	44
Tabla 3. Diseño de sesiones de ejercicio para mejorar el VO2 pico en niños.....	81
Tabla 4. Cambios en las características del rendimiento máximo en el sprint con el avance de la maduración	91

FIGURAS

Figura 1. Componentes esenciales de un programa de Educación Física de calidad	21
Figura 2. Esquema general del metabolismo energético en la célula muscular.....	27
Figura 3. Esquema de la estructura química del ATP	28
Figura 4. Hidrólisis del trifosfato de adenosina (ATP)	29
Figura 5. Proceso de síntesis de ATP mediante el sistema ATP-PCr.....	30
Figura 6. Niveles de ATP y PCr durante el ejercicio supramáximo.....	31
Figura 7. Recuperación de los niveles basales de fosfocreatina (PCr) después de un ejercicio.	32
Figura 8. Procesos citosólicos y mitocondriales por los que las células obtienen energía a partir de la glucosa	33
Figura 9. Etapas de la síntesis de ATP a nivel celular	34
Figura 10. Interacción y contribución relativa de los sistemas energéticos según la duración del ejercicio máximo	36
Figura 11. Potencia y Capacidad de los Sistemas de Energía Muscular.....	37
Figura 12. Condiciones interrelacionadas de la Tríada de Inactividad Pediátrica (PIT)	49
Figura 13. Estrategias efectivas para involucrar a los jóvenes en la actividad física	51

Figura 14. Modelo de entrenamiento integrador.....	53
Figura 15. Educación e Instrucción.....	53
Figura 16. Tipo de medios para trabajar la fuerza infantil	54
Figura 17. Desarrollo de habilidades para la actividad física.....	56
Figura 18. Capacidades básicas y patrones de movimiento	58
Figura 19. El desarrollo multifactorial de la inactividad física juvenil	63
Figura 20. Resumen de los estímulos fisiológicos	65
Figura 21. Beneficios del entrenamiento de fuerza	66
Figura 22. Enfoque socio-ecológico para construir jóvenes más fuertes para la vida	72
Figura 23. Ventajas del entrenamiento de fuerza	73
Figura 24. Relación entre el ejercicio físico y los componentes de la condición física	78
Figura 25. Aptitud aeróbica en relación con la edad en niños y niñas de 10 a 17 años.....	80
Figura 26. Información clave del metabolismo oxidativo y glucolítico	83
Figura 27. Estrategias de entrenamiento para el desarrollo metabólico infantil	84
Figura 28. Variables que definen una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT).	86
Figura 29. Protocolo HIIT	86
Figura 30. Modelo para el desarrollo de la capacidad cardiorrespiratoria mediante juegos reducidos.	88
Figura 31. Planificación del entrenamiento para el desarrollo de la velocidad infantil y juvenil	94
Figura 32. Los efectos protectores del ejercicio sobre la enfermedad de Alzheimer	112
Figura 33. Protocolo experimental para la evaluación del equilibrio dinámico y el aprendizaje motor.....	113
Figura 34. Incremento de la materia gris en practicantes de golf	114
Figura 35. Mecanismos por los cuales el ejercicio físico induce la neurogénesis del hipocampo	114
Figura 36. Representación de la autorregulación cerebral.....	116
Figura 37. Efectos del ejercicio en la mejora de la función cerebrovascular y cognitiva	117
Figura 38. Diferencias estructurales en el volumen de materia gris en el área motora suplementaria entre atletas y no atletas.....	122
Figura 39. Cambios neurológicos significativos asociados al tipo de entrenamiento físico	122
Figura 40. Papel beneficioso multifacético del ejercicio a través del cambio en la dinámica mitocondria	123

Figura 41. Cuatro tipos de diabetes.....	127
Figura 42. Algunos de los principales factores de la diabetes mellitus tipo 2	130
Figura 43. Beneficios para la salud física y mental de la AF sistemática para jóvenes con DM1 y DM2.....	131
Figura 44. Ciclo de riesgo de sobrepeso y obesidad en el transcurso de la vida.....	144
Figura 45. Prevención primaria, secundaria y terciaria del sobrepeso y la obesidad	146

La educación física en el ámbito escolar

Introducción

Los programas de educación física (EF) son un elemento crucial del plan de estudio escolar. La educación física sistemática y enseñada adecuadamente puede ayudar a lograr importantes estándares de contenido, aumentando los niveles de actividad física, mejorando las habilidades motoras fundamentales (siglas en inglés FMS), optimizando los componentes de aptitud física relacionados con la salud y el bienestar personal (1), considerándose un medio apropiado para desarrollar habilidades personales y sociales de los estudiantes, como la responsabilidad individual y social, la colaboración y otras habilidades orientadas al bienestar social (2).

La EF es parte del programa educativo que contribuye, principalmente a través de la actividad física, al crecimiento y desarrollo total de todos los niños. Es la única asignatura que aborda todos los dominios del aprendizaje: psicomotor, cognitivo y afectivo (3). Además, ninguna otra área del plan de estudios está diseñada para ayudar a los niños a aprender cómo mantener un estilo de vida activo (4). No es suficiente educar a los niños únicamente en áreas de contenidos como ciencias, matemáticas, lectura y estudios sociales; también deben graduarse de la escuela con habilidades de bienestar que les servirán durante toda la vida (3,4). Para muchos niños, la EF puede ser la única parte del plan de estudio escolar que

ofrece la oportunidad de aprender habilidades que utilizarán durante toda la vida. Por lo tanto, un programa sólido de educación física enfatiza ayudar a todos los niños a tener éxito, independientemente de su capacidad o nivel de habilidad (3). Los profesores de educación física deben hacer más que enseñar habilidades y aptitud física. También deben tener en cuenta las implicaciones para la salud pública de una educación física de calidad (5).

Componentes esenciales de un programa de educación física de calidad

Los profesores de educación física deben asegurarse de que los estudiantes reciban una experiencia de educación física de calidad que resulte en el aprendizaje de los estudiantes (6). Para hacer esto, los programas deben guiarse por la investigación, el pensamiento y las filosofías actuales. Una de las características únicas de la educación física es que se basa en muchas otras disciplinas. Todas estas disciplinas, están entrelazadas para brindarles a los estudiantes una experiencia de educación física de calidad diseñada para enseñarles habilidades, brindarles conocimientos y desarrollar actitudes positivas hacia toda actividad física (3,6). Esta es una tarea compleja y difícil que los profesores de educación física deben implementar en beneficio de los niños y jóvenes.

Con base en este gran conjunto de evidencia de muchas áreas, los programas de educación física deben abordar varios componentes esenciales que se entrelazan para formar un programa que será valorado por padres, maestros y estudiantes (3). La figura 1, resume los componentes esenciales de un programa de educación física (3).



Figura 1. Componentes esenciales de un programa de Educación Física de calidad.
Fuente: Adaptado de Pangrazi y Beighle (3).

Estado actual de la educación física

La orientación educativa de la educación física ha experimentado cambios frecuentes, generando incertidumbre entre profesores, padres y estudiantes respecto a lo que debería ofrecer un programa de alta calidad. La variabilidad en el enfoque de la educación física ha llevado a confusiones sobre su verdadera naturaleza, exacerbadas por la tendencia de las universidades a modificar los nombres de sus programas, adoptando términos como cultura física, deporte y recreación, profesional en deporte, Licenciatura en Educación Básica con Énfasis en Educación Física, Ciencias del Deporte y la Actividad Física, Licenciatura

en Educación Física y Deportes, entre otros (3). A pesar de estos desafíos, sostenemos la idea de que fomentar la actividad física y los hábitos saludables son objetivos cruciales para una sociedad inactiva y con problemas de sobrepeso (5). En este contexto, la educación física tiene el potencial de ejercer un impacto significativo en la salud pública de nuestra sociedad. Es imperativo que la profesión deje de ser un objetivo en constante cambio y comience a promover la importancia de programas de educación física de alta calidad que contribuyan a mejorar la salud y el bienestar de los estudiantes, y en última instancia, de la sociedad en general (3,5,6).

El papel del docente de educación física

A pesar de los numerosos beneficios ampliamente reconocidos de la educación física y del llamado mundial a favor de más educación física (3), el campo continúa siendo relegado. Para contrarrestar esta tendencia, los programas de educación física deben mostrar que son educativos, de alta calidad y que aportan de manera singular al plan de estudios y al ambiente escolar (6). Para alcanzar este objetivo de establecer la educación física como una herramienta para mejorar la salud pública, los docentes de educación física deben asumir un papel más amplio y destacado en el ámbito escolar. Servir como defensores de la actividad física en las escuelas permite a los docentes de educación física mantener su relevancia y posicionarse como una parte esencial del ámbito escolar (3).

Las escuelas pueden servir como un recurso rentable para luchar contra los malos hábitos saludables y la inactividad física a nivel mundial. Lamentablemente, las escuelas y los docentes no consideran que esto sea una prioridad y no están capacitados ni equipados para llevar a cabo esta responsabilidad. Las responsabilidades potenciales del docente de educación física incluyen organizar programas de bienestar del personal,

brindar educación nutricional (3,5,6), y ayudar a los profesores a integrar las pausas activas en el ámbito escolar (7,8).

Para mejorar el entorno social en las escuelas, es posible instruir a los docentes para que implementen pausas activas durante el día para sus estudiantes (7,8). Otra medida útil en el aula consiste en limitar el tiempo que los estudiantes pasan sentados, alentando a los profesores a que promuevan que se levanten y se muevan al menos una vez por hora, lo cual puede ser anunciado a través de anuncios escolares o señales auditivas (3,7,8). Asimismo, el docente de educación física podría organizar descansos para reducir el estrés durante las reuniones del personal o proporcionar sesiones informativas sobre salud (3).

Contenido de Educación Física

Seguir pautas o estándares establecidos ha demostrado garantizar que los niños reciban una educación de calidad, un aspecto tan esencial para la Educación Física como para cualquier otra área académica (9). Los estándares de contenido son el marco de cualquier programa porque determinan el enfoque y la dirección de la instrucción (10). Los estándares especifican ampliamente lo que los estudiantes deben saber y poder hacer antes de avanzar al siguiente nivel de desarrollo (3). Los estándares establecidos pueden contribuir significativamente al objetivo general de la escuela y de la sociedad, es decir, desarrollar personas integrales capaces de contribuir a la sociedad. Los programas de calidad están impulsados por estándares que motivan a los niños hacia logros de alto nivel (3,9,10).

Los años de primaria son un excelente momento para enseñar habilidades motrices porque los niños tienen el tiempo y la predisposición para aprenderlas (3). La gama de habilidades presentadas en educación física debería ser ilimitada; los niños

necesitan encontrar y aprender tantas habilidades físicas diferentes como sea posible (3).

La clasificación de los conceptos de movimiento incluye la conciencia del cuerpo y del espacio, las cualidades del movimiento y las relaciones. Aprender las habilidades es insuficiente; los niños también necesitan explorarlos en una variedad de entornos (3,7,11). Este estándar garantiza que a los niños se les enseñará cómo se clasifican los conceptos de movimiento y está diseñado para brindarles una mayor conciencia y comprensión del cuerpo como vehículo para el movimiento mientras adquieren un vocabulario personal de habilidades de movimiento (9).

Las FMS constituyen la base de todas las actividades físicas y se asocian con una mejor calidad de vida en la infancia (1). Estas capacidades permiten a los niños desenvolverse de manera eficiente en su entorno y se clasifican en habilidades locomotoras, no locomotoras y manipulativas (1). Las habilidades locomotoras implican el desplazamiento del cuerpo de un lugar a otro o su proyección vertical, como ocurre al saltar. Entre ellas se incluyen caminar, correr y saltar. Las no locomotoras se desarrollan en el lugar, con poco movimiento espacial. Estas, que no están tan bien definidas como las locomotoras, incluyen equilibrio, flexibilidad, rodar, girar, empujar y jalar. Las manipulativas se desarrollan manipulando algún tipo de objeto. La mayoría de estas habilidades involucran las manos y los pies, pero también se utilizan otras partes del cuerpo. La manipulación de objetos conduce a una mejor coordinación ojo-mano y ojo-pie, que son especialmente importantes para rastrear objetos en el espacio. Las habilidades de manipulación son básicas para muchos juegos.

Las habilidades especializadas se utilizan en diversos deportes y otras áreas de la educación física, incluidas actividades con aparatos, acrobacias, danza y juegos específicos. El desarrollo de las habilidades especializadas se logra mediante instrucción

y ejercicios planificados. Muchas de estas habilidades dependen de técnicas específicas, por lo que la enseñanza enfatiza la forma y los procedimientos correctos. El movimiento eficiente del cuerpo requiere la integración de varios rasgos físicos, incluyendo agilidad, equilibrio, flexibilidad y coordinación. Los estudiantes también necesitan aprender a controlar sus cuerpos mientras están en aparatos grandes como vigas, bancos y cajas de salto.

El movimiento rítmico implica moverse siguiendo un patrón regular y predecible. La capacidad de moverse rítmicamente es básica para el desempeño de habilidades en todos los ámbitos. Un programa rítmico que incluye danza, salto de cuerda y gimnasia rítmica ofrece una variedad de actividades para ayudar a los estudiantes a lograr este objetivo. Las primeras experiencias se centran en formas de movimiento funcionales y creativos. La instrucción comienza y aprovecha las habilidades locomotrices que los niños ya tienen: caminar, correr, y saltar. Las actividades rítmicas son un vehículo para el movimiento expresivo.

Los juegos brindan a los niños la oportunidad de aplicar de manera significativa las habilidades recién aprendidas. Muchos juegos desarrollan grandes grupos de músculos y mejoran la capacidad de correr, esquivar, arrancar y detenerse bajo control mientras se comparte espacio con otros. A través de los juegos, los niños experimentan el éxito y los logros. Los objetivos sociales que se pueden lograr a través de los juegos incluyen el desarrollo de habilidades interpersonales, la resolución de conflictos, la aceptación de parámetros de reglas y el aumento del autoconocimiento en una situación competitiva y cooperativa.

Condición metabólica

Introducción

Durante la actividad física, el músculo esquelético satisface sus necesidades energéticas utilizando sustratos provenientes de las reservas del cuerpo, obtenidas a través de la ingesta diaria de nutrientes. Los principales sustratos energéticos que el músculo esquelético emplea para convertir la energía química en energía mecánica o estática son las grasas y los carbohidratos (Fig. 2). Aunque las proteínas también pueden funcionar como sustratos energéticos en situaciones especiales (como en ejercicios de larga duración o en ayuno), su papel principal en el organismo es muy diferente, incluyendo la síntesis de tejidos, hormonas y enzimas, entre otras funciones.

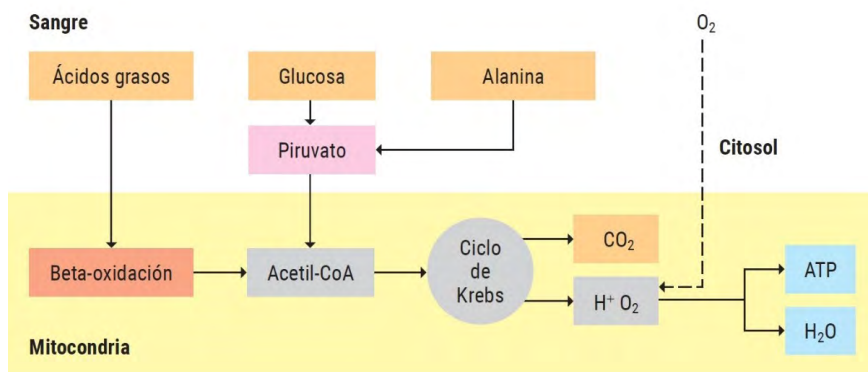


Figura 2. Esquema general de la utilización de los nutrientes por la célula muscular para la obtención de energía. Acetil CoA: acetilcoenzima A; ATP: trifosfato de adenosina. Fuente: López y Fernández (12)

Los sustratos no son utilizados directamente por la célula muscular. Todos ellos deben liberar la energía almacenada en

sus enlaces químicos para fosforilar el trifosfato de adenosina (ATP, por sus siglas en inglés), ya que la célula muscular solo puede obtener energía química de manera directa a partir de este compuesto de alta energía y convertirla en energía mecánica. Es decir, el metabolismo energético de las células musculares consiste principalmente en una serie de transferencias de energía que permiten que la célula disponga de la cantidad de ATP necesaria para satisfacer sus demandas energéticas en cada momento.

Trifosfato de adenosina

El ATP es la fuente de energía más rápida o inmediata en la célula (Fig. 3). Todas las células del cuerpo tienen una concentración específica de ATP, esencial para la vida celular, que debe mantenerse constante para asegurar el correcto funcionamiento muscular.

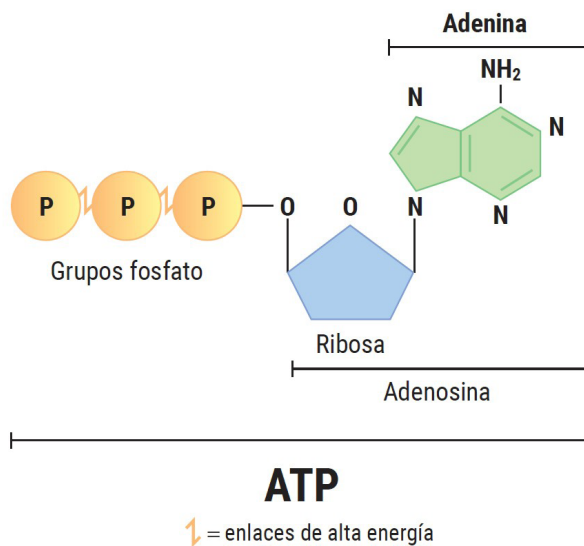


Figura 3. Esquema de la estructura química del ATP.
Fuente: López y Fernández (12)

La hidrólisis del ATP a ADP es un proceso exergónico que libera la energía almacenada en el enlace del tercer grupo fosfato

(Fig. 4). Esta energía puede ser utilizada en cualquier proceso celular que requiera energía, no limitándose únicamente a la acción/activación muscular. La cantidad de energía liberada por la hidrólisis del ATP en la célula muscular depende de las condiciones de temperatura y pH. El músculo esquelético aprovecha esta energía para inducir cambios en su estructura interna (interacción entre actina y miosina), lo que se refleja internamente en el acortamiento del sarcómero o el aumento de la tensión, y externamente en la generación de fuerza aplicada o, en su caso, movimiento. Después de la hidrólisis, el ADP debe reincorporar un grupo fosfato para convertirse nuevamente en ATP, lo cual requiere un aporte energético (es una reacción endergónica) (figura 4) que proviene del catabolismo de diferentes sustratos energéticos.

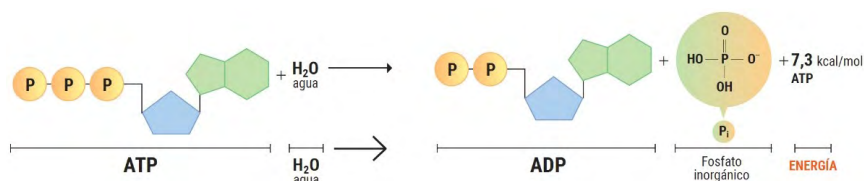


Figura 4. Hidrólisis del trifosfato de adenosina (ATP). Proceso exergónico que libera 7,3 kcal por cada mol. ADP: difosfato de adenosina. Fuente: López y Fernández (12).

Rutas metabólicas para la resíntesis de ATP durante el ejercicio

Desde una perspectiva didáctica y conceptual, es posible clasificar los sistemas energéticos según el tipo de sustrato que utilizan, aunque es importante destacar que, en condiciones reales, no hay una participación exclusiva de un solo sistema, ni en reposo ni durante el ejercicio.

- Metabolismo de los fosfágenos o de la fosfocreatina
- Glucolisis citoplasmática
- Fosforilación oxidativa

Metabolismo de los fosfágenos

El sistema energético más simple es el sistema ATP-PCr, representado en la Figura 5. Además de almacenar una cantidad muy limitada de ATP, las células también contienen otra molécula de fosfato de alta energía llamada fosfocreatina o PCr (a veces denominada fosfato de creatina). Este mecanismo sencillo consiste en la transferencia de un P_i desde la PCr al ADP para generar ATP. A diferencia del ATP que está libremente disponible, la energía liberada por la descomposición de la PCr no se emplea directamente para el trabajo celular. Por el contrario, regenera el ATP para mantener un suministro relativamente constante.

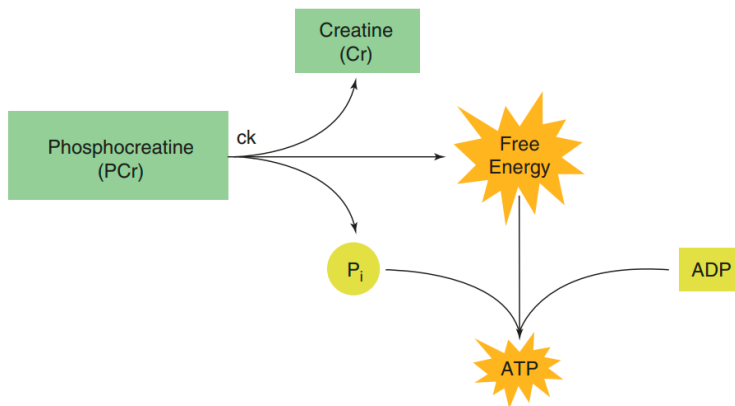


Figura 5. Proceso de síntesis de ATP mediante el sistema ATP-PCr. En el sistema ATP-PCr, la energía liberada de la hidrólisis de la fosfocreatina (PCr) se utiliza para sintetizar trifosfato de adenosina (ATP) a través de la unión del fosfato inorgánico (P_i) al fosfato de adenosina (ADP). Fuente: Sousa et al., (13)

La liberación de energía a partir de la PCr es facilitada por la enzima creatina cinasa, que actúa sobre la PCr separando el P_i de la creatina. Esta energía liberada se puede utilizar para añadir una molécula de P_i al ADP y así formar ATP. Dado que la energía se obtiene del ATP al separar un grupo fosfato, las células pueden prevenir el agotamiento de ATP descomponiendo la PCr

para proporcionar tanto la energía como el P_i necesarios para regenerar ATP a partir del ADP (Fig. 6).

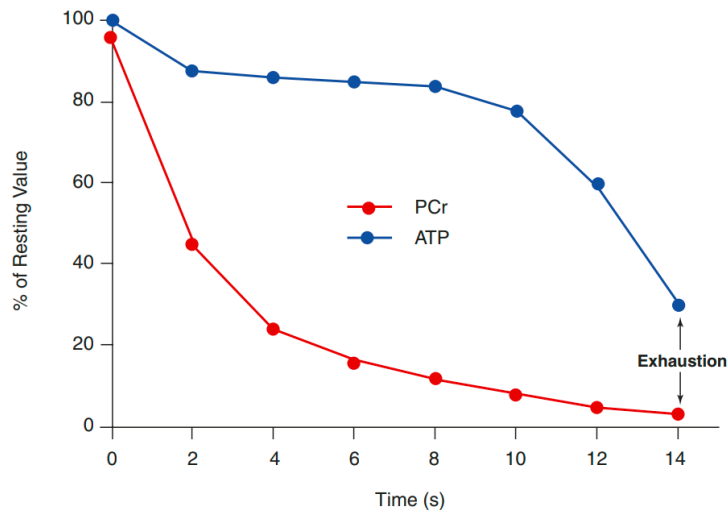


Figura 6. Niveles de ATP y PCr durante el ejercicio supramáximo. La energía liberada por la degradación de la fosfocreatina (PCr) se utiliza para sintetizar ATP durante 14 segundos (s) de ejercicio supramáximo (carrera de velocidad), lo que evita que el nivel de ATP disminuya en los primeros 10 s de ejercicio. Sin embargo, en el momento del agotamiento (~14 s), tanto los niveles de ATP como de PCr son bajos y, si el ejercicio se prolonga más, la energía para la resíntesis continua de ATP debe provenir de un catabolismo menos rápido de los macronutrientes almacenados. Fuente: Sousa et al., (13)

Según los principios de retroalimentación negativa y de las enzimas limitadoras de la velocidad, la actividad de la creatina cinasa aumenta cuando las concentraciones de ADP y P_i se elevan. Al inicio de un ejercicio de alta intensidad, la pequeña cantidad de ATP disponible en las células musculares se descompone rápidamente para proporcionar energía de inmediato, produciendo ADP y P_i . El aumento en las concentraciones de ADP estimula la actividad de la creatina cinasa, lo que lleva a la degradación de la PCr para generar ATP adicional. A medida que el ejercicio continúa y se produce más ATP a través de los otros dos sistemas energéticos (el glucolítico y el oxidativo), la actividad de la creatina cinasa se inhibe.

La resíntesis de PCr en la célula muscular después del ejercicio ocurre de manera muy rápida. Durante los primeros 30

segundos de recuperación, se puede restaurar el 50% de los niveles iniciales, y en 2 minutos, se recupera el 90% (Fig. 7). Esta recuperación sigue una cinética muy similar tanto para ejercicios de alta como de baja intensidad.

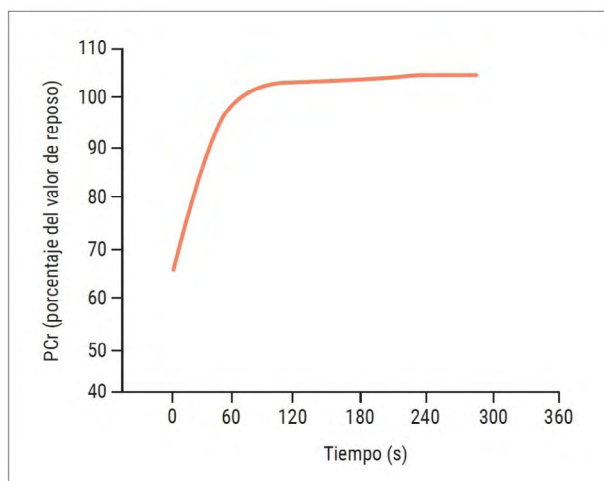


Figura 7. Recuperación de los niveles basales de fosfocreatina (PCr) después de un ejercicio. Fuente: Modificada de Forbes SC y cols., 2008. (12).

Metabolismo de los hidratos de carbono

Los carbohidratos, específicamente la glucosa, son el único sustrato que nuestras células pueden utilizar para producir energía, ya sea a nivel citoplasmático o mitocondrial. El proceso mediante el cual las células obtienen energía de la glucosa se llama glucólisis. Dependiendo de la tasa de activación de la glucólisis (según la demanda energética) y de la capacidad oxidativa de las mitocondrias musculares, el metabolismo de la glucosa culminará en la conversión del piruvato en lactato (glucólisis citosólica), o en la entrada del piruvato en la mitocondria (glucólisis mitocondrial u oxidativa). En la mitocondria, el piruvato se convierte en acetilcoenzima A (acetil-CoA) e ingresa en el ciclo de los ácidos tricarboxílicos o ciclo de Krebs, que culmina en la fosforilación oxidativa. (Fig. 8).

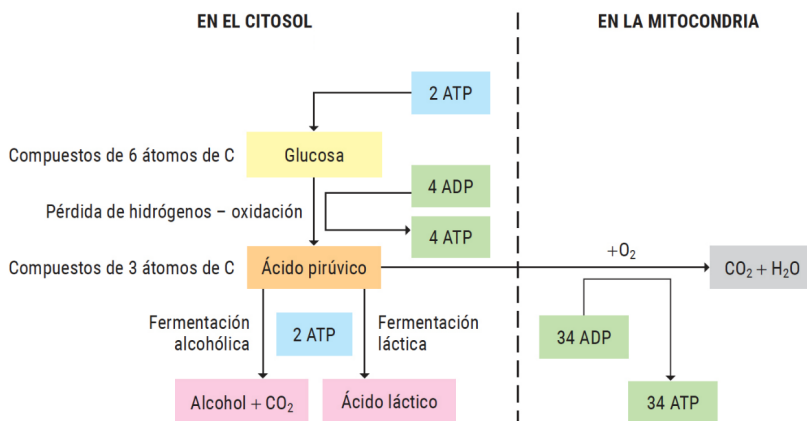


Figura 8. Procesos citosólicos y mitocondriales por los que las células obtienen energía a partir de la glucosa.

Fuente: Adaptado de López y Fernández (12)

Energía a largo plazo: fosforilación oxidativa

La fosforilación oxidativa empieza a ganar mayor preponderancia cuando el ejercicio intenso se prolonga más allá del primer minuto. No obstante, después de más de 2 horas de ejercicio a una intensidad moderada a vigorosa, las reservas de glucógeno pueden agotarse, lo que hace que las grasas se conviertan en la principal fuente de energía para actividades de mayor duración. La oxidación, independientemente de la fuente de energía, se inicia en las mitocondrias con la formación de la coenzima-A acetilada (acetil Co-A), lo que desencadena una serie de reacciones químicas que permiten su oxidación completa mediante el ciclo de Krebs, también conocido como ciclo del ácido cítrico o ciclo del ácido tricarboxílico (Fig. 9). Al igual que la vía energética ATP-PCr, el ciclo de Krebs está controlado por retroalimentación negativa, y dado que es alimentado por la vía glucolítica, ambos procesos se ven potenciados por ADP y Pi, y regulados negativamente por el ATP.

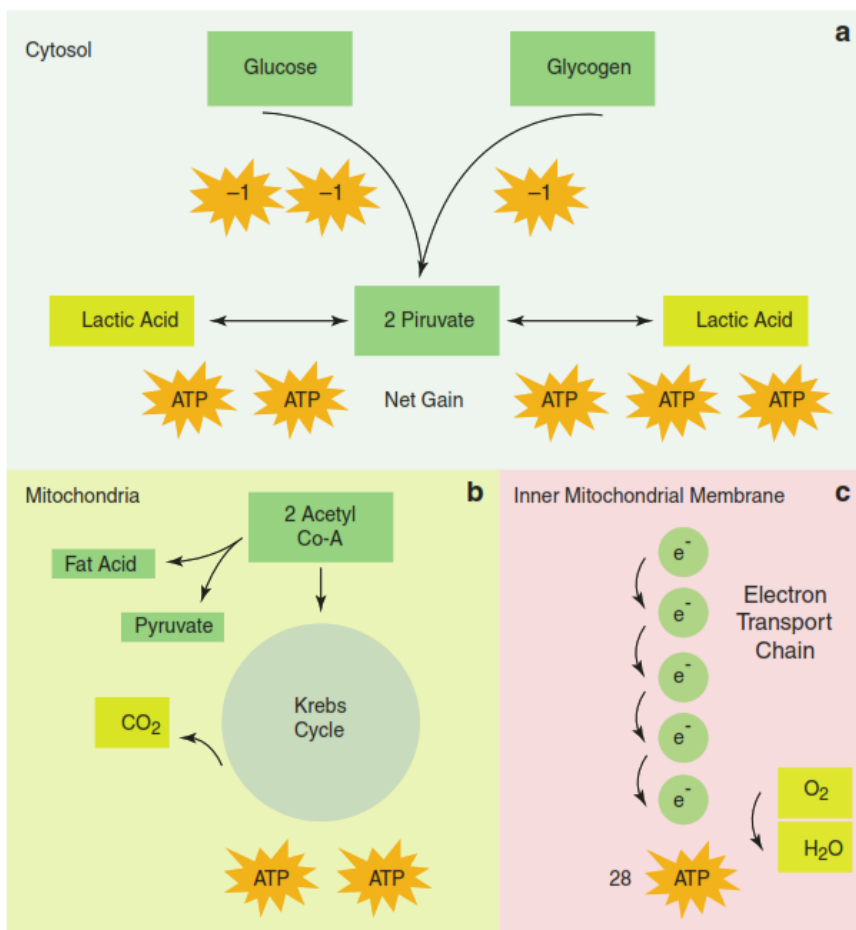


Figura 9. Etapas de la síntesis de ATP a nivel celular. Nota. La producción de ATP comienza en la glucólisis (descomposición de la glucosa) o la glucogenólisis con la producción de piruvato (a), el cual es posteriormente catalizado en coenzima A acetilada (que también puede derivar de ácidos grasos) para entrar en el ciclo de Krebs (b). Los iones de hidrógeno liberados en este último proceso son transportados a la cadena de transporte de electrones, donde se forma una gran cantidad de ATP (c). Fuente: Sousa et al., (13).

El ciclo de Krebs concluye con la generación de CO₂ y dos moléculas de ATP. Los iones de hidrógeno que se liberan en este proceso, junto con los que se desprenden en etapas químicas anteriores, no pueden permanecer en el sistema, ya que esto acidificaría el ambiente celular. Para evitar esto, dichos iones se unen a dos coenzimas en su forma reducida (NADH y FADH₂), las cuales transportan los átomos de hidrógeno (electrones)

hacia la cadena de transporte de electrones en la membrana mitocondrial interna. Los electrones viajan de un complejo a otro en esta cadena, con el oxígeno como aceptor final, formando agua (H_2O) en el proceso. La energía liberada durante este transporte se emplea para bombear los iones de hidrógeno desde la matriz hacia la membrana externa de la mitocondria. Luego, siguiendo el gradiente de concentración, estos iones regresan a través de la membrana a través de la enzima ATP sintasa, generando ATP al transferir energía al ADP. La cantidad de ATP producido depende de las coenzimas NADH y $FADH_2$, donde cada par de electrones transportado genera tres moléculas de ATP. Tras considerar la energía requerida para bombear los iones, el resultado neto es de 28 ATP. Además, la oxidación de las grasas proporciona una significativa fuente de energía, cuya capacidad es ilimitada. Para ser aprovechada como energía, el ácido graso libre debe convertirse en acetil Co-A mediante el proceso de β -oxidación, lo que permite que el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones actúen como se explicó anteriormente.

Espectro energético del ejercicio

Determinar cuáles son las principales fuentes de energía necesarias para una actividad es clave para diseñar un programa de actividad física en el ámbito escolar (Fig. 10). A lo largo de los años, se han presentado diferentes sugerencias basadas en los métodos utilizados para calcular la participación relativa de cada vía energética. Sin embargo, los estudios más recientes sugieren que todas las actividades físicas dependen de alguna forma de los tres sistemas que generan energía.

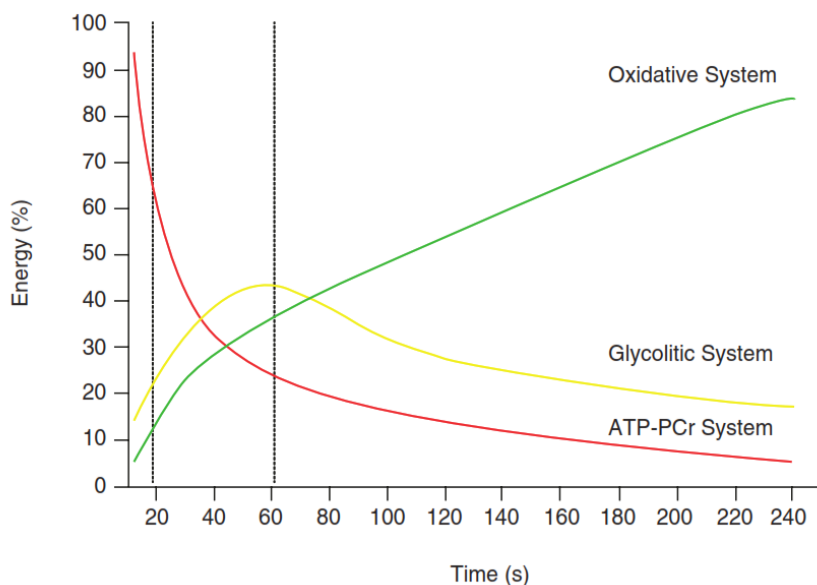


Figura 10. Interacción y contribución relativa de los sistemas energéticos según la duración del ejercicio máximo.

Fuente: Sousa et al. (13)

En un extremo, los esfuerzos de altísima intensidad que duran unos 14 segundos obtienen casi toda su energía de los fosfatos de alta energía almacenados en los músculos, y en los primeros 10 segundos, se produce entre un 75% y un 85% de la reducción en PCr (13). Ejemplos de estos esfuerzos incluyen saltos en el atletismo, lanzamiento en el atletismo de campo, Sprint en deportes de equipo, y el levantamiento de pesas. En estos casos, la velocidad a la que se libera la energía es crucial para mantener altos niveles de potencia en cortos períodos de tiempo, aunque la capacidad de producir esa energía es muy limitada (Fig. 11). Para esfuerzos máximos que duran hasta 1 minuto, alrededor del 60% de la energía total proviene del sistema glucolítico, siendo la vía glucolítica la principal fuente (13). Ejemplos de esto son la carrera de 400 metros y la natación de 100 metros. Hoy en día, se sabe que un esfuerzo máximo de aproximadamente 75 segundos utiliza energía de ambos sistemas, glucolítico y oxidativo, en partes iguales (13), predominando luego el sistema oxidativo,

como en el caso de carreras de 800 metros y la natación de 200 metros. A medida que la distancia o el tiempo del ejercicio aumenta, la importancia del sistema glucolítico disminuye, mientras que el sistema oxidativo gana protagonismo, ya que la intensidad del ejercicio disminuye.

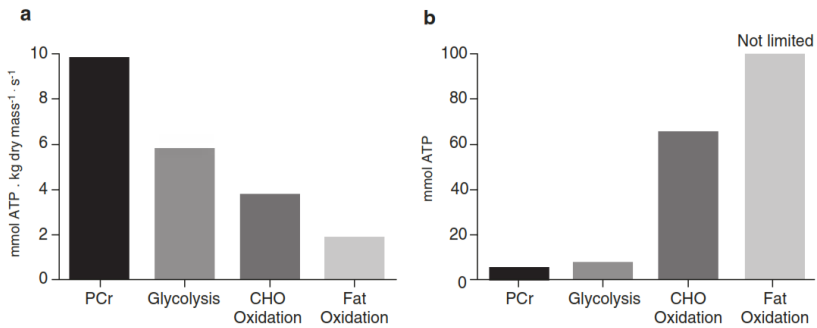


Figura 11. Potencia y Capacidad de los Sistemas de Energía Muscular. La relación inversa entre los diferentes sistemas energéticos en cuanto a la velocidad máxima (potencia del sistema) a la que se puede sintetizar ATP (a) y la cantidad (capacidad del sistema) de ATP que se puede producir (b) Fuente: Sousa et al., (13).

El desarrollo motriz a largo plazo en el ámbito escolar

Introducción

Los niños y adolescentes, (de 6 a 18 años), suelen gozar de mejor salud en comparación con los adultos (14); sin embargo, todavía existe una preocupación acerca de los hábitos relacionados con la salud y los niveles de aptitud física entre los jóvenes en el mundo (14). En ese sentido, las tendencias recientes indican que un porcentaje considerable de jóvenes son físicamente inactivos, tienen sobrepeso, bajos niveles de condición física y tienen una competencia deficiente en FMS (14). Además de las inquietudes relacionadas con la salud física, se ha observado un incremento en los problemas de salud mental, como la ansiedad y la depresión, entre los jóvenes (14), los cuales podrían estar vinculados con la falta de actividad física (14,15).

La buena noticia es que una experiencia positiva en educación física, deporte y AF desde una edad temprana puede favorecer la salud y el bienestar físico, psicológico, cognitivo, social y emocional a lo largo de la infancia, adolescencia y en la vida adulta (14,16). El modelo de desarrollo a largo plazo del atleta (siglas en inglés LTAD) ofrece un marco para optimizar la salud y el bienestar, al involucrar a los jóvenes en programas de AF que aborden todos los dominios del aprendizaje: psicomotor,

cognitivo y afectivo (3,16,17). En este contexto, el LTAD adopta el lema del Colegio Americano de Medicina del Deporte: “El ejercicio es medicina”, destacando que, en el caso de niños y adolescentes, la AF y la alfabetización física actúan como una “polipíldora” con amplios beneficios para el crecimiento, la maduración y el desarrollo. El objetivo es examinar cómo se pueden aplicar los 10 pilares del LTAD (14) (Tabla 1), para mejorar el desarrollo del bienestar en niños y adolescentes en el ámbito escolar.

Pilar	Recomendaciones para los profesionales
Las vías de desarrollo atlético a largo plazo deben adaptarse a la naturaleza altamente individualizada y no lineal del crecimiento y desarrollo de los jóvenes.	• Prescribir programas de entrenamiento que se ajusten a las necesidades y habilidades del individuo. • Comprender la manera en que interactúan el crecimiento, la maduración, el desarrollo y el entrenamiento. • Distinguir entre adaptaciones inducidas por el entrenamiento y las relacionadas con el crecimiento en el rendimiento.
Los jóvenes de todas las edades, habilidades y aspiraciones deben participar en programas de desarrollo atlético a largo plazo que promuevan tanto la condición física como el bienestar psicosocial.	• Promover oportunidades y caminos para que todos los jóvenes puedan participar en programas de actividad física (AF) y bienestar. • Apreciar el efecto que tienen otros factores del estilo de vida (nutrición, descanso, recuperación, presiones psicosociales y externas) en la condición física y la AF. • Involucrar a los padres para ayudar a los jóvenes a obtener el descanso adecuado, reducir el estrés y desarrollar resiliencia.
Se debe alentar a todos los jóvenes a mejorar su condición física desde la infancia, con un enfoque principal en el desarrollo de habilidades motoras y fuerza muscular.	• Fomentar un inicio temprano del juego activo y el juego libre (antes de los 5 años) y actividades de fuerza y acondicionamiento apropiadas para el desarrollo a partir de los 6 o 7 años. • Considerar la coordinación y la fuerza muscular como componentes sinérgicos del desarrollo de habilidades motoras.

Las vías de desarrollo atlético a largo plazo deben seguir un enfoque temprano y amplio para los jóvenes, que fomente y mejore una amplia gama de habilidades motoras.	• Promover la participación en una variedad de deportes y otras actividades extracurriculares, incluyendo el juego estructurado y no estructurado, y recordar incluir tiempo alejado del deporte. • Evitar la especialización temprana en deportes antes de la pubertad.
La salud y el bienestar del niño deben ser siempre el principio central del desarrollo atlético a largo plazo.	• Ser un modelo positivo a seguir en salud y bienestar. • Crear una cultura placentera y enriquecedora de experiencias positivas en el deporte y la AF, promoviendo el bienestar mediante el énfasis en una mentalidad de crecimiento, automotivación, percepción de competencia, confianza y resiliencia. • No utilizar la AF como castigo ni permitir la actividad física forzada. • Comunicar eficazmente. Lo que dices y cómo lo dices es importante.
Los jóvenes deben participar en el acondicionamiento físico que ayude a reducir el riesgo de lesiones para garantizar su participación continua en programas de desarrollo atlético a largo plazo.	• Proporcionar un programa de ejercicio bien equilibrado que incluya entrenamiento de fuerza, habilidades motoras, movilidad, velocidad, agilidad y un descanso adecuado. • Asegurar que el programa de ejercicios sea apropiado para el desarrollo y prepare adecuadamente a los jóvenes para las demandas del deporte y la AF. • Abordar el “subuso” proporcionando un programa a largo plazo para todos los jóvenes.
Los profesionales deben utilizar herramientas de monitoreo y evaluación relevantes como parte de una estrategia de desarrollo atlético a largo plazo.	• Recoger mediciones trimestrales de altura y peso para monitorear el crecimiento y la maduración. • Medir tanto el producto (por ejemplo, distancia de salto, velocidad, etc.) como el proceso (por ejemplo, competencia técnica) al evaluar las capacidades físicas. • Evaluar el bienestar general y conocer cómo los jóvenes afrontan sus estresores, ayudándolos a reconocer sus deficiencias dimensionales y a trabajar en conjunto para lograr el bienestar.

Los profesionales que trabajan con jóvenes deben progresar e individualizar sistemáticamente los programas de entrenamiento para un desarrollo atlético exitoso a largo plazo.	• Adoptar un enfoque progresivo, individualizado e integrado en la programación de actividades de entrenamiento de fuerza y acondicionamiento. • Los programas de entrenamiento de los jóvenes deben estar dictados por las necesidades del individuo, su nivel técnico y competitivo, y los requisitos de los deportes o actividades específicas. • Los siguientes factores deben considerarse al diseñar programas de entrenamiento: (a) adaptación a influyentes factores sociales como el tiempo y las instalaciones disponibles para el entrenamiento, (b) presiones del trabajo académico, (c) necesidad de socializar con familiares y amigos, (d) necesidad de recuperación dentro y fuera de las sesiones de entrenamiento y períodos planificados, (e) planificación del cronograma de entrenamiento y competiciones, y (f) influencia del crecimiento y la nutrición en cada joven.
Profesionales cualificados y enfoques pedagógicos sólidos son fundamentales para el éxito de los programas de desarrollo atlético a largo plazo.	• Obtener una comprensión del desarrollo infantil y adolescente, la ciencia del ejercicio pediátrico, la pedagogía y las habilidades de entrenamiento que den forma a un entorno de desarrollo que promueva la motivación intrínseca y el disfrute.

Tabla 1. Pilares y recomendaciones para el desarrollo del bienestar físico y psicosocial de los jóvenes. Fuente: Eisenmann et al., (14)

¿Qué es LTAD?

En primer lugar, es fundamental comprender que el desarrollo a largo plazo en el deporte y la actividad física no se limita a ser una vía exclusiva para que los jóvenes deportistas lleguen al deporte profesional (14). Un ejemplo de esto es el segundo pilar (14,16), que sostiene que los niños y jóvenes de todas las edades, capacidades y aspiraciones, deben integrarse en programas que promuevan tanto la aptitud física como el bienestar psicosocial (16). Es importante destacar que los principios y fundamentos

del modelo LTAD son igualmente aplicables a la educación física (14). De hecho, los resultados esperados del modelo LTAD incluyen la mejora de la salud, la condición física y el bienestar integral (16).

El principio central de LTAD: salud y bienestar

El quinto pilar del LTAD establece que la salud y el bienestar deben ser siempre el eje central de este modelo. Este pilar, en su conjunto, abordan mucho más que el componente aptitud física relacionada con la salud y la condición física e incluye el bienestar afectivo, cognitivo y social de los niños y adolescentes (16). Esto abarca el fomento de una mentalidad de crecimiento, motivación, confianza, seguridad y resiliencia (14,16).

Fundamentos: Habilidades motoras y disfrute

Las FMS constituyen la base para fomentar la confianza, la competencia y la alfabetización física en la educación física, el deporte y la actividad física (1,3,14,16) (Tabla 2). Las FMS comienzan a formarse en la infancia y en la etapa del preescolar (3,14,18), cuando los niños pequeños empiezan a moverse y explorar su entorno (14). Estas habilidades siguen desarrollándose hasta la mitad y finales de la niñez (aproximadamente entre los 7 y 10 años), hasta que se dominen (3,14,19). Estudios recientes indican que muchos niños y jóvenes hoy en día presentan un bajo nivel de dominio de estas habilidades (19). Por lo tanto, es crucial que los programas de educación física, actividad física y deporte para niños y jóvenes se enfoquen en desarrollar una amplia gama de FMS durante la niñez (pilar 3) (1,3,14,19). En ese sentido, las habilidades deben ser integradas en una variedad de deportes y juegos (pilar 4) junto con la programación del entrenamiento de la resistencia, fuerza y velocidad y otros modelos de programación de la aptitud física (pilar 7), de manera progresiva e individualizada (pilar 9).

Habilidades Locomotoras	Habilidades de Estabilidad	Habilidades Manipulativas
Walking	Balancing	Throwing
Running	Landing	Catching
Hopping	Turning	Striking
Skipping	Twisting	Kicking
Bounding	Bending	Dribbling
Leaping	Stretching	Bouncing
Jumping	Extending	Pushing
Rolling	Flexing	Pulling
Galloping	Hanging	Carrying
Sliding	Bracing	Trapping
Dodging	Rotation	Collecting

Tabla 2. Clasificación general de las habilidades motoras fundamentales (FMS).
Fuente: Eisenmann et al., (14)

Las oportunidades del juego libre y juegos sencillos en la educación inicial, la educación preescolar y la educación básica (los cinco grados de primaria) ofrece a los niños y jóvenes un excelente entorno para que exploren y experimenten con un enfoque de ensayo y error, al intentar nuevas experiencias de movimiento (14,16,17). Con el tiempo, esta experiencia ayuda a desarrollar la competencia y la confianza necesarias para aprender o perfeccionar patrones de movimiento más complejos, comunes en los deportes y la actividad física (14). Muchas de estas actividades similares al juego libre, utilizan patrones de FMS que pueden transferirse fácilmente a diversas actividades físicas y deportivas a lo largo de la vida (14). Además, estos juegos simples mejoran la percepción espacial y la conciencia corporal, aspectos que los jóvenes a menudo no han desarrollado debido a su falta de experiencia (14,16,17,19,20).

El sueño

Al igual que la actividad física, el sueño pueden actuar como una “polipíldora” para favorecer un crecimiento, maduración y desarrollo óptimos. No obstante, también hay preocupaciones respecto a los hábitos actuales de sueño en niños y adolescentes. Aunque la Academia Estadounidense de Medicina del Sueño recomienda que los niños de 6 a 12 años duerman entre 9 y 12 horas, y los adolescentes de 13 a 18 años entre 8 y 10 horas por día (21), la realidad es completamente diferente. Una de las principales razones puede estar vinculada al uso de dispositivos electrónicos (14,22); sin embargo, el exceso de actividades, la carga escolar, y la mala gestión del tiempo, también pueden influir en la disminución del tiempo de sueño, lo que a su vez puede impactar negativamente en el bienestar general de los niños y jóvenes (14).

Evaluación y seguimiento: No se puede gestionar lo que no se mide

La evaluación y el seguimiento sistemáticos pueden desempeñar un papel clave en la educación física y la concientización sobre diversos aspectos de la salud, la condición física y el bienestar, como el crecimiento y la maduración, el desarrollo de FMS, el rendimiento físico, la prevención de lesiones, la nutrición, el sueño y el bienestar psicosocial (pilar 8) (14,16). La evaluación también puede ser una herramienta útil para establecer objetivos y fomentar la motivación. No obstante, es crucial tener en cuenta el desafío de coordinar y mantener una comunicación eficaz entre todas las partes interesadas (14,16).

Recomendaciones para la práctica adecuada de ejercicio físico escolar

Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que los niños dediquen al menos 60 minutos diarios de actividad física moderada a vigorosa (siglas en inglés MVPA). Estas directrices abarcan la participación de actividades mediadas por la fosforilación oxidativa de intensidad vigorosa, así como actividades motrices diseñadas para fortalecer músculos y huesos, con una frecuencia de tres veces por semana (23). En niños y jóvenes en edad escolar, la participación regular en MVPA se asocia con beneficios en la salud cerebral, cardiovascular y metabólica, mejorando la masa corporal y la salud a largo plazo (23,24). Además, la evidencia científica continúa reconociendo que la participación en ejercicios de fortalecimiento muscular, bajo una supervisión adecuada, es una herramienta segura, efectiva y esencial para provocar adaptaciones positivas en niños y jóvenes (23,25), puede optimizar la potencia, la velocidad y el rendimiento motor en los niños (26), beneficiando su salud y reduciendo la tríada de inactividad física infantil (27). En este sentido, estas adaptaciones dependerán de las características de los estímulos y de la velocidad pico de crecimiento (PHV) antes, medio o después de su velocidad pico máxima (28), lo que se articula con un período sensible para las intervenciones

en estas edades que conducen a ventanas de oportunidades denominadas “ventanas de entrenabilidad”, las cuales están asociadas con el desarrollo natural acelerado de una habilidad motora específica (29) que puede ser beneficiada y potenciada con el entrenamiento de fuerza (26).

La disminución de la MVPA se manifiesta en las primeras etapas de la vida, observándose que la mayoría de los niños abandonan la participación en deportes antes de cumplir los 11 años (30). Los niños con un nivel de actividad física reducido tienen una predisposición a convertirse en adolescentes que también carecen de actividad física, reemplazando su tiempo activo con períodos de tiempo frente a pantallas a lo largo de su proceso de crecimiento (31). Si no se promueve la exposición regular a actividades físicas adecuadas para el desarrollo y que generen intrínseca satisfacción durante las primeras etapas de la vida, es probable que las actuales tendencias de inactividad física persistan sin disminución alguna, ya que los jóvenes pueden perder interés y desconectarse de los programas deportivos y de ejercicios tanto en el ámbito escolar como extraescolar (27,31).

Triada de la inactividad física (siglas en inglés PIT)

La propuesta realizada por Faigenbaum et al., (32), identifica una condición que se observa en niños y jóvenes con un bajo nivel de actividad física y abarca tres elementos distintos pero interconectados: 1) trastorno por déficit de ejercicio, 2) discapacidad pediátrica y 3) analfabetismo físico. Aunque cada uno de estos elementos por separado puede afectar la participación continua en actividades físicas, recreativas y deportivas; en conjunto presentan una triple amenaza para niños y adolescentes que se ve moldeada por una serie de factores socio-ecológicos (27,32). La figura 12 presenta la comprensión actual de cómo interactúan los distintos componentes de la PIT.

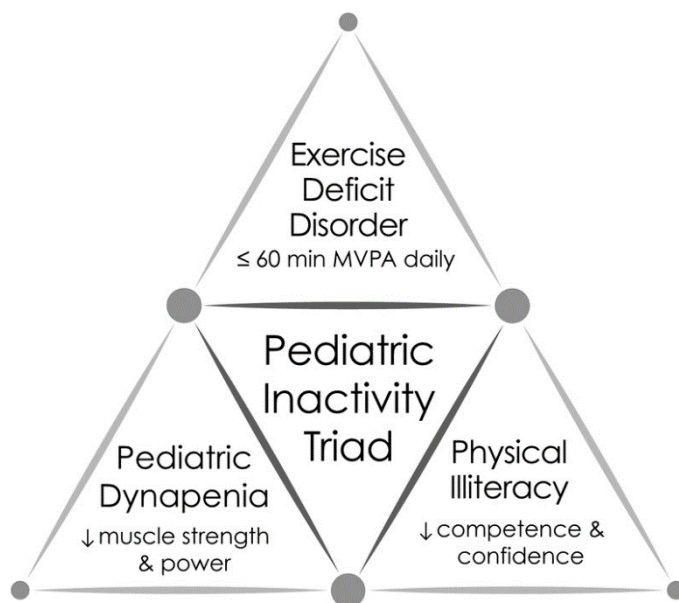


Figura 12. La PIT consta de tres condiciones interrelacionadas que influyen en la inactividad física y los riesgos de salud relacionados. Fuente: Faigenbaum et al. Fuente: Faigenbaum et al. (32).

El primer aspecto de la PIT se relaciona con el término conocido como trastorno por déficit de ejercicio, una expresión utilizada para describir una situación caracterizada por niveles de Actividad Física de MVPA que no se ajustan a las pautas actuales de salud pública (33). En lugar de simplemente etiquetar a un niño como inactivo, es más apropiado emplear el término trastorno por déficit de ejercicio para enfatizar la gravedad de esta condición clínica, y también para educar a los padres sobre la importancia de la MVPA diaria y para fomentar una pronta intervención por parte de pediatras y otros profesionales. Los jóvenes que no cumplan con los niveles mínimos recomendados de MVPA serían identificados de manera similar a si tuvieran una afección preexistente, lo cual posibilitaría abordar su situación con la misma dedicación y determinación que se emplearía en el caso de un niño con hipertensión o un adolescente fumador, con el propósito de prevenir la progresión de procesos patológicos.

El segundo componente hace referencia a la dinapenia pediátrica, una condición que se distingue por la presencia de niveles reducidos de fuerza y potencia muscular, y las correspondientes limitaciones funcionales que no tienen origen en enfermedades neurológicas o musculares (27). Realizar actividades como saltar, trepar, patear y lanzar con destreza exige un cierto nivel de fuerza y potencia muscular. Los jóvenes con carencias en estos aspectos tienden a ser menos activos, afrontan restricciones en su funcionalidad y enfrentan un mayor riesgo de lesiones relacionadas con la actividad física durante momentos de juego y práctica deportiva. Estas observaciones resaltan la importancia de identificar a los jóvenes en situación de riesgo y aplicar intervenciones enfocadas en mejorar la aptitud muscular. Al potenciar la fuerza y la potencia, se generará un impacto positivo en los patrones de actividad física, lo que permitirá que los jóvenes menos activos superen la barrera de la fuerza y alcancen el nivel de sus pares con una mayor aptitud muscular. Es suficiente observar a principiantes en una clase de gimnasia o en un programa de artes marciales para reconocer la necesidad de niveles adecuados de fuerza y potencia muscular para ejecutar movimientos con elegancia, fluidez y precisión.

El tercer aspecto del PIT se relaciona con el concepto de analfabetismo físico, el cual se refiere a la carencia de confianza, competencia, motivación y conocimiento para desenvolverse con habilidad en una variedad de actividades físicas. El término “alfabetización física” ha sido ampliamente utilizado para abarcar los atributos y características que influyen en la participación en actividad física a lo largo de toda la vida (34). Sostenemos que el término “analfabetismo físico” engloba las influencias interrelacionadas y perjudiciales del trastorno por déficit de ejercicio y la dinapenia pediátrica, tal como se observa en jóvenes con debilidad y falta de actividad. En ausencia de niveles apropiados de MVPA y fuerza muscular, los niños mostrarán una menor disposición para trepar en estructuras

de juegos o patear una pelota. Cuanto menos se involucren en este tipo de actividades lúdicas, menor será su estado de forma física, lo que reducirá la probabilidad de experimentar la satisfacción intrínseca del movimiento. Dado que el concepto de analfabetismo físico abarca aspectos relacionados con el aprendizaje psicomotor, cognitivo y afectivo, las intervenciones deben integrar estrategias pedagógicas, motivacionales y sociales efectivas, con el propósito de que los jóvenes menos activos interioricen el valor de la actividad física. Es crucial equilibrar la cantidad de MVPA recomendada con la calidad de la experiencia de movimiento (35).

Estrategias fundamentales para mejorar la PIT

El juego es la destreza de crear y aplicar programas de actividad física diseñados para niños y jóvenes (27). Es esencial comprender los fundamentos científicos relacionados con el ejercicio en el ámbito pediátrico con un entendimiento de las estrategias de enseñanza que estimulen a los niños a mantenerse activos y a tomar la iniciativa en cuanto a sus propias decisiones y acciones (Fig. 13) (27,32).

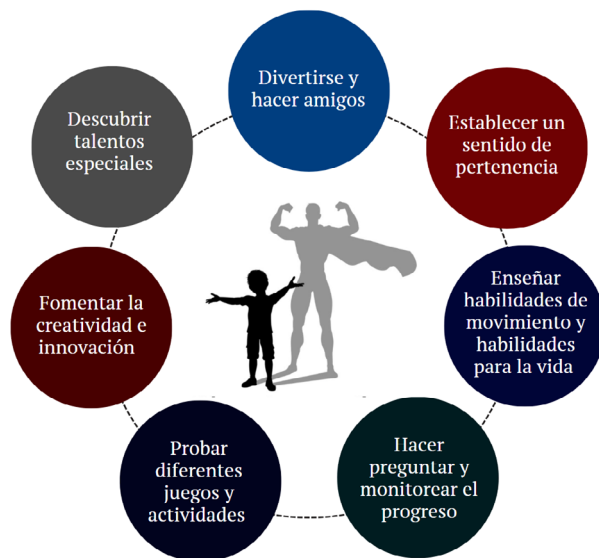


Figura 13. Estrategias efectivas para involucrar a los jóvenes en la actividad física.
Fuente: Faigenbaum et al. (27, 32).

Numerosas investigaciones resaltan la importancia del diseño de los programas de entrenamiento pediátrico, que deben tener como propósito mejorar la fuerza muscular y las habilidades motoras en la primera infancia (36). El entrenamiento integrativo neuromuscular (siglas en inglés INT) es un método de acondicionamiento que integra ejercicios de fuerza y preparación física orientados a mejorar los componentes de la condición física relacionados con la salud y las FMS como la locomoción, estabilización y manipulación (Fig. 14) (37). Este tipo de entrenamiento ofrece a los jóvenes la oportunidad de mejorar su aptitud muscular y su competencia motriz, ganando confianza y competencia en las habilidades para estar físicamente activos (38). El INT incluye una instrucción verbal y de modelado significativa, ejercicios desafiantes e interacciones sociales positivas, que representarán una experiencia agradable para todos los jóvenes, independientemente de su tamaño corporal, destreza o experiencia de entrenamiento (Fig. 15) (39,40). El INT se distingue por la alternancia entre breves períodos de actividad física y cortos períodos de descanso de forma regular (41). Esta característica intermitente, en lugar de continua, del entrenamiento neuromuscular integrativo se asemeja más a la manera en que los jóvenes naturalmente se mueven y juegan (41). Además, este enfoque abarca diversas modalidades de entrenamiento que se planifican de manera sensata y evolucionan con el tiempo (37,41) .

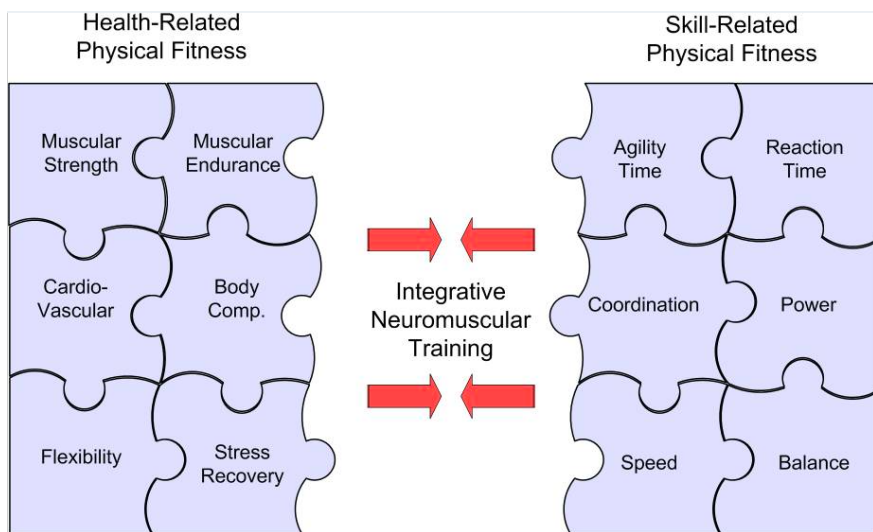


Figura 14. Modelo de entrenamiento integrador que indica un enfoque en el desarrollo de habilidades motoras fundamentales a través de actividades que consolidan la condición física relacionada con la salud y las habilidades, puede maximizar la eficacia del acondicionamiento neuromuscular durante la preadolescencia. Fuente: Myer et al., (41).

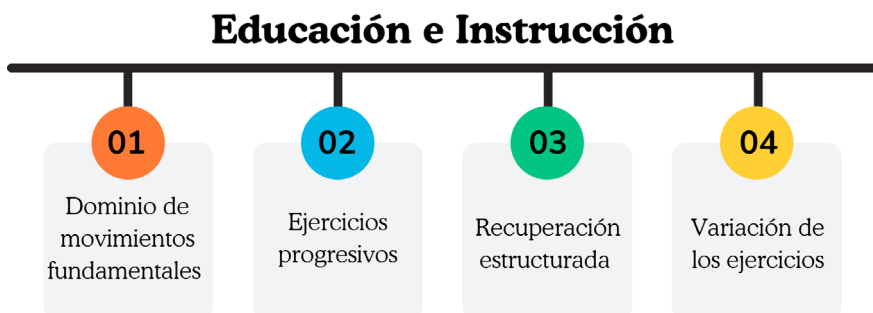


Figura 15. La educación y la instrucción son los componentes clave para la implementación efectiva del entrenamiento neuromuscular integrador. Fuente: Myer et al., (41).

Un programa diseñado a través del método de INT establece que la sesión de entrenamiento debe iniciar con un calentamiento dinámico de 5 a 10 minutos. Un calentamiento dinámico bien diseñado puede reforzar los patrones de movimiento y al mismo tiempo establecer un ritmo deseado para las próximas actividades, activando el sistema neuromuscular, mejorando la movilidad, y la flexibilidad (42). El calentamiento dinámico puede transitar fluidamente hacia la fase de entrenamiento,

que puede abarcar un circuito de ejercicios que incorpora una variedad de equipos (medios), como balones medicinales, bandas de resistencia, globos de boxeo, mancuernas, discos, material inestable, material coordinativo, cuerdas de batalla, entre otros (Fig. 16) (27,37,42).



Figura 16. Tipo de medios para trabajar la fuerza Infantil.
Fuente: Faigenbaum y McFarland (40)

El desarrollo de los niveles adecuados de la competencia motriz, es decir, la capacidad de un individuo para llevar a cabo movimientos dirigidos hacia objetivos específicos, se presentan como un factor fundamental para fomentar la actividad física y otros aspectos positivos relacionados con la salud a lo largo de la vida (43,44). Las revisiones y los estudios longitudinales han revelado pruebas que respaldan la relación positiva entre la competencia motriz y la actividad física (45-47), la aptitud física relacionada con la salud (48,49), la competencia percibida (45) y el estado de la masa corporal total (inversamente) (50,51). En consecuencia, la preponderancia de la evidencia indica que

al aumentar la competencia motriz entre los jóvenes conlleva numerosos beneficios para la salud.

Durante décadas, se han empleado diversas métricas para evaluar las habilidades motoras gruesas, y su utilización se intensificó a medida que las investigaciones comenzaron a explorar la relevancia del desarrollo motor en múltiples aspectos de la salud (52). En niños y adolescentes, las investigaciones se han enfocado principalmente en las habilidades de movimiento fundamentales “tradicionales” (53). Estos cimientos esenciales para las formas de movimiento más avanzadas en el proceso de desarrollo se suelen dividir en categorías que engloban habilidades locomotoras (como correr y saltar), habilidades de control de objetos (como atrapar y patear), y habilidades de estabilidad (como mantener el equilibrio y realizar movimientos de balanceo corporal) (52). La falta de desarrollo de competencia en estas habilidades fundamentales puede dificultar la adquisición de habilidades más avanzadas o especializadas en el futuro (52).

El modelo elaborado por Hulteen et al., [50] ilustra la progresión de las habilidades de movimiento desde movimientos reflexivos hasta habilidades especializadas (Fig. 17). Los autores reconocen que modelos, metáforas y taxonomías anteriores han contribuido en el desarrollo del modelo actual, como se indica con las flechas negras (52). Sin embargo, el modelo amplía el campo de estudio del desarrollo motor (1) al ampliar la categorización de habilidades de movimiento cruciales para la participación en la AF, que denominamos “habilidades de movimiento fundamentales”, (2) reconocer la posible influencia sociodemográfica en las habilidades de movimiento, y (3) considerar factores como la aptitud física relacionada con la salud, el peso corporal y aspectos psicológicos (como la percepción de competencia y la autoeficacia) que influyen en el desarrollo de habilidades de movimiento a lo largo de la vida.

Estos aspectos adicionales del modelo propuesto se indican con flechas blancas y recuadros punteados.

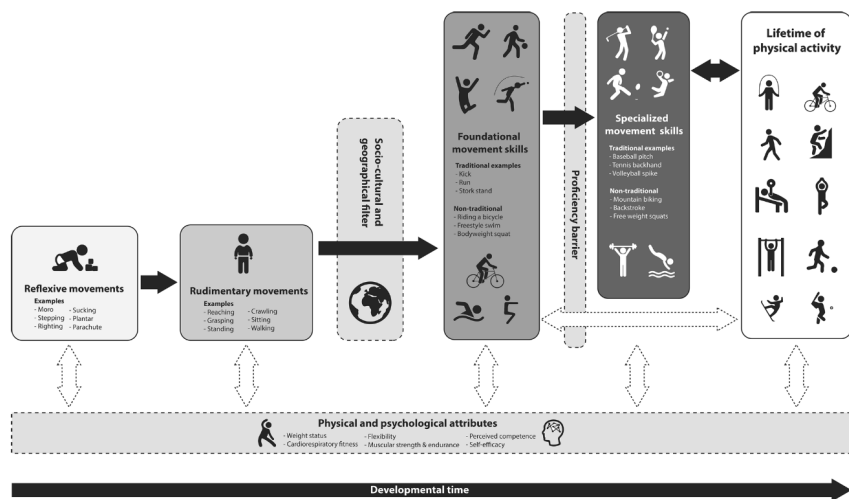


Figura 17. Desarrollo de habilidades para la actividad física. Desarrollo de habilidades de movimiento fundamentales para la actividad física a lo largo de la vida. Las flechas negras indican vías previamente planteadas como hipótesis; Las flechas blancas y los cuadros de puntos indican vías/componentes recientemente hipotéticos exclusivos de este modelo conceptual. Fuente: Hulteen et al., (52).

Alfabetización en habilidades de entrenamiento de la aptitud muscular

El constructo que establece la alfabetización de las habilidades de entrenamiento de la aptitud muscular (siglas en inglés RTSL) reconoce la importancia de moverse con confianza, competencia y motivación en una variedad de entornos (40) el concepto de RTSL, se enfoca en el conocimiento y la alfabetización de las capacidades básicas y patrones de movimiento fundamentales que son componentes esenciales para la participación sistemática en actividades de fortalecimiento muscular (40). Debido a que la evidencia ha establecido que la competencia motriz y la confianza en las habilidades individuales influyen en la participación en el entrenamiento de la fuerza (40), los esfuerzos deben ir dirigidos a mejorar las destrezas y la

percepción de las propias habilidades que pueden ayudar a la adherencia en las actividades de fortalecimiento muscular en niños y jóvenes con diversas necesidades y habilidades (40,54,55). Por lo tanto, la estructura de RTSL se puede aplicar para mejorar el desarrollo físico tanto en jóvenes inactivos como en atletas jóvenes, a pesar de las diferencias en sus habilidades, técnicas y comportamientos durante el ejercicio. La Figura 18 representa gráficamente las capacidades fundamentales y los patrones de movimiento esenciales que forman parte del RTSL. Estas capacidades fundamentales permiten a los participantes explorar su potencial para mantener el equilibrio, mejorar la coordinación, mantener la concentración mental y ejecutar movimientos de manera eficaz. Asimismo, los patrones de movimiento fundamentales actúan como elementos básicos que respaldan habilidades más avanzadas y pueden fomentar la participación en una variedad de contextos de rendimiento.

RTSL no se limita simplemente a ejecutar ejercicios específicos en un número predefinido de series y repeticiones. En cambio, los diversos aspectos multidimensionales de RTSL se pueden visualizar en un conglomerado que puede ser influenciado de manera positiva o negativa por las interacciones con profesionales y compañeros. A medida que los jóvenes comienzan a comprender el movimiento del cuerpo humano, desarrollan confianza en sus habilidades físicas, realizan ejercicios de fuerza con destreza y contribuyen a que otros desarrollen las habilidades y comportamientos que respaldan la participación en actividades de fortalecimiento muscular, pueden avanzar en el constructo de la RTSL. Los profesionales calificados pueden respaldar este progreso continuo en la RTSL proporcionando experiencias significativas de movimiento que permitan a los jóvenes realizar una amplia gama de ejercicios de fuerza, explorar diferentes métodos de entrenamiento y aprender de sus compañeros a través de interacciones positivas, lo que les hace sentirse satisfechos con sus logros. Una vez que los jóvenes comprenden las habilidades básicas necesarias para

el entrenamiento de la fuerza, cumplen con las pautas generales de seguridad, modelan los comportamientos deseables y ejecutan los movimientos fundamentales con habilidad, están preparados para avanzar en las RTSL. Es importante destacar que la progresión a lo largo de este constructo no debe basarse en la edad cronológica o el grado escolar, sino más bien en el conocimiento, la ejecución de habilidades y la experiencia en el entrenamiento (es decir, la “edad” de entrenamiento). Por lo tanto, un niño de 10 años con 2 años de experiencia en entrenamiento de fuerza y un alto nivel de RTSL podría ser capaz de realizar ejercicios más avanzados con cargas más pesadas que un adolescente sin experiencia de entrenamiento y un nivel bajo de RTSL.



Figura 18. Capacidades básicas y patrones de movimiento fundamentales que son componentes de la alfabetización en habilidades de entrenamiento de la fuerza. Fuente: Faigenbaum (40)

Los niños y jóvenes con un alto nivel de RTSL tienen una mayor confianza en sus FMS, tienen una mayor motivación por el aprendizaje de nuevos ejercicios y disfrutan de la realización de actividades de fortalecimiento muscular en diferentes entornos (p. ej. escolar, extraescolar) (40) En ese sentido, el

entrenamiento de fuerza, adaptado al nivel de desarrollo y supervisado por profesionales calificados, ha demostrado ser eficaz cuando se incorpora dos o tres veces por semana en programas de preescolar, educación primaria y educación secundaria (40).

Fuerza en el ámbito escolar

Introducción

Las nuevas guías de AF de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sugieren que los niños realicen al menos 60 minutos de actividad física MVPA todos los días, en este sentido, deben realizar ejercicios aeróbicos de intensidad vigorosa, así como actividades motoras para fortalecer músculos y huesos, tres veces por semana (23,56). En niños y jóvenes en edad escolar, la MVPA regular se asocia con beneficios en la salud cerebral, cardiovascular y metabólica, mejorando la masa corporal y la salud a largo plazo (23,24). Además, la evidencia científica continúa reconociendo que la participación adecuadamente supervisada en ejercicios de fortalecimiento muscular es una herramienta segura, efectiva y esencial para provocar adaptaciones positivas en niños y jóvenes (23,25), puede optimizar la potencia, la velocidad y el rendimiento motor en los niños (57), beneficiando su salud y reduciendo la tríada de la inactividad física infantil (58) En este sentido, estas adaptaciones dependerán de las características de los estímulos y de la velocidad pico de crecimiento (su siglas en inglés PHV) antes, media o después de su velocidad pico máxima (59), lo que se articula con un periodo sensible para intervenciones en estas edades que conducen a ventanas de oportunidades denominadas “ventanas de entrenabilidad”, que se asocian al desarrollo natural acelerado de una habilidad motora

específica (60) que puede ser beneficiada y potenciada con el entrenamiento de fuerza (57).

Dado que los hábitos AF se forman en las primeras etapas de la vida y pueden mantenerse durante la infancia y adolescencia (61), un nivel adecuado de AF en la niñez también puede desempeñar un papel clave en la prevención de la obesidad y enfermedades metabólicas a lo largo de la vida (62). En particular, los fenotipos relacionados con la aptitud muscular suelen mantenerse desde la infancia hasta la adultez, lo que sugiere que los niños con bajos niveles fuerza tienden a convertirse en adultos con las mismas características, a menos que se implementen estrategias que fomenten el desarrollo de la fuerza desde una edad temprana (63).

Los niveles bajos de fuerza muscular en la infancia se asocian con habilidades motoras fundamentales limitadas, baja competencia motora, restricciones funcionales y efectos negativos en la salud (64) (Fig. 19). Estudios recientes indican que algunas mediciones de fuerza muscular en la juventud actual son inferiores a las observadas en generaciones anteriores (61,65-67). En este contexto, una investigación en Australia reveló una disminución del 5,6% en niños y del 5,8% en niñas en el rendimiento del salto de longitud a pies juntos desde el año 2000 (67), mientras que Sandercock y Cohen, informaron una reducción en la fuerza en niños ingleses de 10 años entre 1998 y 2014, evaluada mediante pruebas de flexión sostenida, abdominales y fuerza de prensil, entre 1998 y 2014 (66). Tendencias similares en aptitud muscular han sido documentadas en jóvenes de Eslovaquia (68), España (69), Nueva Zelanda (70) y Estados Unidos (67). A pesar de la creciente cantidad de evidencia sobre los beneficios de los ejercicios de fortalecimiento muscular y óseo para la salud y condición física de los jóvenes en edad escolar (54,64,71), la relevancia de mejorar la fuerza muscular desde edades tempranas a menudo

se ve eclipsada por las recomendaciones generales de acumular al menos 60 minutos diarios de MVPA (38).

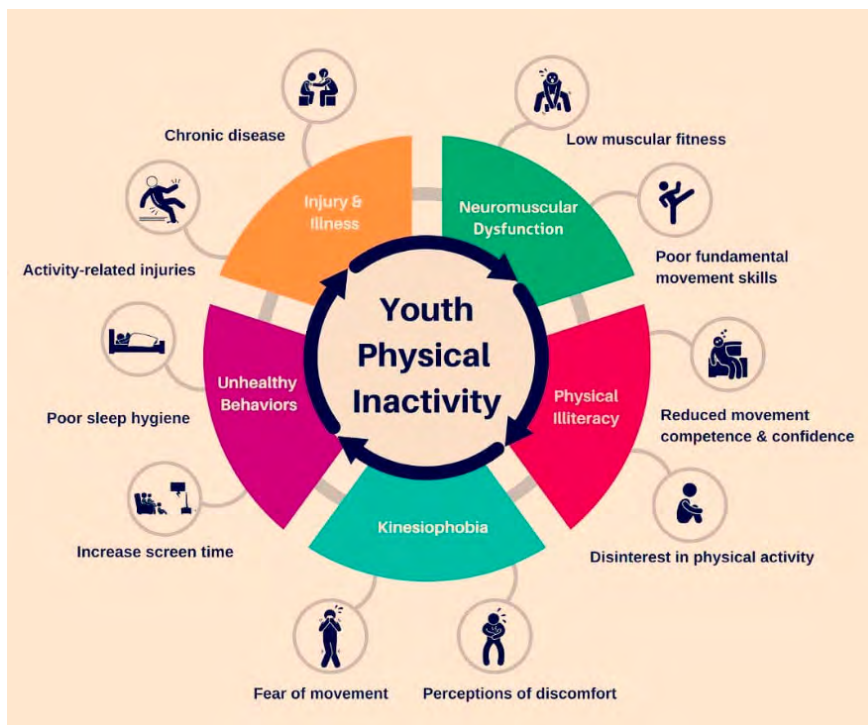


Figura 19. El desarrollo multifactorial de la inactividad física juvenil.
Fuente: Faigenbaum et al. (38)

Las oportunidades para que los niños sean físicamente activos han disminuido en muchos países en las últimas décadas, influenciadas por factores como el entorno, la tecnología, las redes sociales y las políticas escolares (72). La OMS, como los profesionales de la salud pública e investigadores en pediatría han identificado a las escuelas como un lugar estratégico para fomentar la actividad física como un hábito de vida saludable (61,64,73). Dado que la mayoría de los niños desarrollan la madurez emocional necesaria para participar en deportes entre los 5 y 7 años de edad, también están en condiciones de empezar a realizar ejercicios estructurados de fortalecimiento de músculos y huesos que se ajusten a sus necesidades, habilidades e intereses (38,61).

Beneficios del entrenamiento de la fuerza

Beneficios para la salud

La OMS respalda la participación en diversas actividades físicas, incluidas aquellas que favorecen el fortalecimiento de músculos y huesos. Considerando que los jóvenes actualmente no alcanzan los niveles de actividad recomendados (74), resulta crucial motivar a niños y adolescentes para que participen regularmente en juegos, deportes y actividades físicas tanto en el ámbito escolar como fuera de él. La AF es vital no solo para un desarrollo y crecimiento adecuados, sino que los programas dirigidos a mejorar la fuerza muscular y las FMS en etapas tempranas parecen sentar las bases para un estilo de vida activo a largo plazo(57). La participación constante en programas de entrenamiento de fuerza (EF) para jóvenes ha demostrado tener efectos positivos en múltiples aspectos de la salud a corto plazo (75). La infancia podría ser el periodo ideal para que el proceso de remodelación ósea se vea beneficiado por las fuerzas de tracción y compresión que implica el entrenamiento de fuerza (74), ya que este tipo de entrenamiento puede aumentar la densidad mineral ósea durante los años de crecimiento (74).

La participación regular en programas de acondicionamiento físico para jóvenes, diseñados para mejorar la aptitud muscular, también puede beneficiar la salud cardiovascular y metabólica (74). Un estudio longitudinal demostró que los hombres que mantienen niveles elevados de potencia muscular desde la infancia hasta la adultez tienden a presentar perfiles más saludables de la homeostasis de glucosa (Fig. 20) (76, 77). Además, se ha evidenciado que niveles superiores de fuerza muscular, potencia muscular y una puntuación combinada de aptitud muscular en la infancia se asocian con un menor riesgo de síndrome metabólico, independientemente de la aptitud cardiorrespiratoria(74,76).Es relevante señalar que los hallazgos de un metaanálisis reciente indican que niveles más altos de fuerza muscular en extremidades superiores e inferiores están vinculados a un riesgo reducido de mortalidad en adultos (64). La

participación en programas de fortalecimiento muscular puede influir positivamente en otras variables, como la composición corporal, la calidad de vida y el bienestar psicológico (74). No obstante, cuando los jóvenes no tienen oportunidades regulares para involucrarse en programas de ejercicio estructurados que incluyan algún tipo de entrenamiento de fuerza, es más probable que experimenten resultados negativos en su salud y menos propensión a participar de manera regular en actividades físicas de intensidad moderada a vigorosa (78).

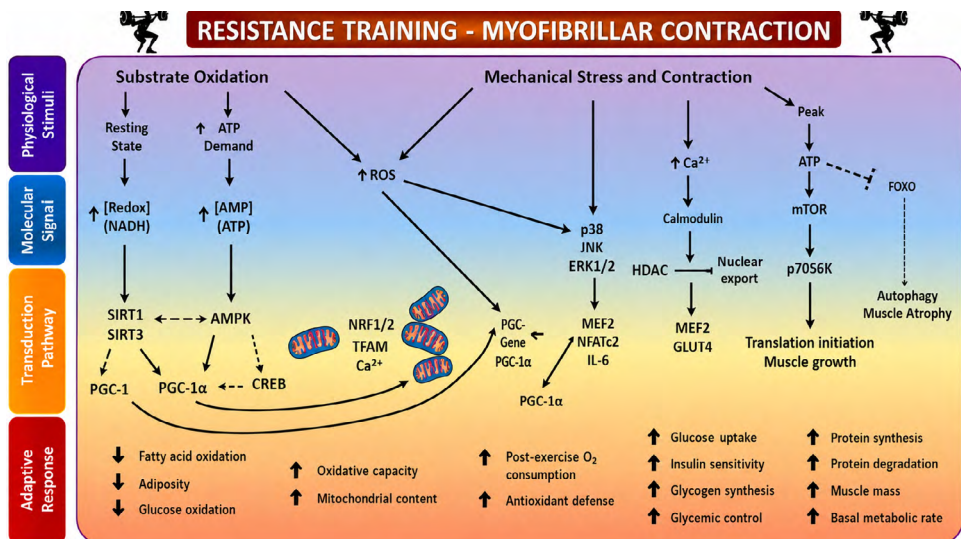


Figura 20. Resumen de los estímulos fisiológicos desencadenados por el entrenamiento de fuerza y los eventos de señalización molecular específicos que conducen a una serie de respuestas adaptativas favorables. Fuente: Fraser et al., (77)

Revisiones y estudios longitudinales han demostrado evidencia de una asociación positiva entre la competencia motriz y AF (79,80). La competencia motriz es definida como la capacidad de un organismo para interactuar con su medio de forma eficaz (81). Aunque las directrices internacionales para la AF en jóvenes suelen centrarse en promover actividades aeróbicas como correr o andar en bicicleta (74), datos más recientes han subrayado los beneficios únicos y complementarios de las actividades físicas que fortalecen los músculos en niños y adolescentes (75,82). La exposición temprana a actividades atractivas basadas en la fuerza y las habilidades puede ser

especialmente importante para fomentar la participación continua en AF de intensidad moderada a vigorosa (74,83-85). Este tipo de experiencias pueden fomentar percepciones de competencia y confianza en uno mismo, lo que a su vez ayuda a mantener la participación en actividades de ejercicio y deporte a lo largo de la vida. Además de facilitar una participación segura y efectiva en el entrenamiento de fuerza, el desarrollo de competencias y confianza en habilidades de EF puede apoyar las creencias de autoeficacia, promover percepciones físicas positivas y mejorar la alfabetización física (86,87). Por consiguiente, un creciente conjunto de evidencias indica que el aumento de la fuerza muscular y la competencia motriz en los jóvenes conlleva beneficios observables para la salud y la condición física (Fig. 21).

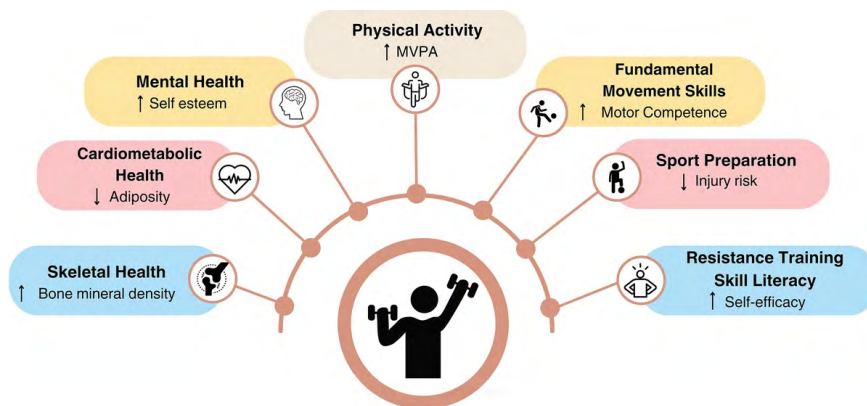


Figura 21. Los beneficios del entrenamiento de fuerza para jóvenes se extienden mucho más allá de las ganancias en fuerza y potencia. Fuente: Smith et al., (88)

Considerando el aumento en la prevalencia de sobrepeso y obesidad entre los jóvenes y los problemas de salud asociados, se ha prestado mayor atención al impacto del entrenamiento de la fuerza (EF) en la salud metabólica, la composición corporal y el riesgo de lesiones en niños y adolescentes con exceso de grasa corporal (57,74). El estudio de Collins et al., [89], que analizó datos de 18 ensayos controlados evaluando ocho resultados relacionados con el estado de peso, sugirió que una intervención de RT aislada puede influir en el estado de peso de los jóvenes

(89). En ese sentido, una revisión sistemática y un metanálisis recientes investigaron los efectos del ejercicio concurrente, es decir, la combinación de entrenamiento de fuerza y entrenamiento cardiovascular versus el entrenamiento solo cardiovascular, en resultados antropométricos y metabólicos en niños y adolescentes obesos (90). Concretamente, el ejercicio concurrente durante más de 24 semanas mejoró la composición corporal y los perfiles cardiometabólicos más que el entrenamiento cardiovascular aislado (74,90). Por lo tanto, los profesionales y médicos que trabajan con jóvenes obesos deberían considerar intervenciones de ejercicio que integren tanto entrenamiento cardiovascular como de fuerza al diseñar programas para esta población, en lugar de centrarse únicamente en el ejercicio aeróbico.

Beneficios para el rendimiento deportivo

El entrenamiento deportivo debería comenzar en la niñez para que los futuros atletas puedan mejorar de manera progresiva y sistemática su preparación física y psicológica para jugar (57,74,75,82). El momento óptimo para iniciar la práctica deportiva puede definirse como aquel en el que el niño alcanza la madurez necesaria para aprender y entender una tarea específica (74). En el ámbito del deporte, esto incluye factores físicos, neurológicos, cognitivos, psicológicos y sociales. El rendimiento físico suele medirse como el resultado de tareas motoras estandarizadas que requieren velocidad, agilidad, equilibrio, flexibilidad, fuerza explosiva, resistencia muscular local y fuerza muscular estática (74).

Habilidades de movimiento y rendimiento motriz

Desarrollar niveles adecuados de competencia motriz puede ser un factor clave para promover la actividad física y la salud a lo largo de la vida (74). Diversas evaluaciones de habilidades motoras gruesas han sido utilizadas durante décadas. En niños y adolescentes, la investigación se ha centrado principalmente FMS “tradicionales”, comúnmente clasificadas en habilidades

locomotoras (por ejemplo, correr, saltar), control de objetos (por ejemplo, atrapar, patear) y estabilidad (por ejemplo, equilibrio, balance corporal). Recientes avances en el diseño de planes de desarrollo físico a largo plazo han destacado la importancia de mejorar la fuerza muscular y el desempeño de las habilidades motoras desde edades tempranas, para brindar a los niños la mejor oportunidad posible de participar de manera constante y exitosa en actividades deportivas y de ejercicio (71,74,91,92). Estudios metaanalíticos recientes sugieren que el EF es un método eficaz para mejorar las habilidades motoras generales, como saltar, correr y lanzar, durante la infancia y la adolescencia (74,93).

En este contexto, un nuevo modelo propuesto por Hulteen et al., (2018), amplía el trabajo previo en desarrollo motor de Biddle et al., (2011), al expandir la clasificación de las habilidades de movimiento fundamentales para la participación en la actividad física (AF), denominándolas “habilidades de movimiento fundacionales” en lugar de “habilidades de movimiento fundamentales”. El término “fundacional” se refiere a “una base o soporte subyacente” que maximiza las oportunidades de participación en la AF. Este nuevo modelo incluye actividades como el EF, que requieren competencia en patrones coordinativos de movimiento específicos (p. ej., sentadillas con peso corporal, flexiones o zancadas) que no encajan fácilmente en las clasificaciones tradicionales de las FMS. Por lo tanto, el desarrollo de habilidades a lo largo del tiempo debe considerarse en el contexto de cómo conduce a un desempeño competente y en términos de cómo diversas formas de movimiento respaldan y mantienen una vida de actividad física.

Además, investigaciones previas han indicado que la participación regular en un programa periodizado de EF mejora diversas variables de rendimiento en una amplia gama de deportes, incluyendo fútbol, natación, gimnasia rítmica, atletismo, bádminton, baloncesto, entre otros (74). Por lo tanto,

el EF ha demostrado ser una estrategia eficaz para potenciar el rendimiento de las habilidades motoras en los jóvenes.

Recomendaciones generales antes de iniciar el entrenamiento de fuerza

Aunque factores como la genética, la experiencia de entrenamiento y los hábitos de salud (p. ej., la nutrición y el sueño) influyen en la velocidad y magnitud de las adaptaciones que ocurren, existen siete principios fundamentales que determinan la efectividad de los programas de entrenamiento de para jóvenes: (a) Progresión, (b) Regularidad, (c) Sobrecarga, (d) Creatividad, (e) Disfrute, (f) Socialización y (g) Supervisión. Estos principios esenciales pueden recordarse mediante el acrónimo Proceso del entrenamiento de fuerza para niños y jóvenes ((96). Al trabajar con niños y adolescentes, es crucial tener en cuenta que el objetivo del programa no debe limitarse solo a aumentar la fuerza muscular. Es igualmente importante mejorar las habilidades motoras, fomentar nuevas interacciones sociales y promover comportamientos saludables en un entorno de apoyo (96).

Al diseñar e implementar programas de acondicionamiento físico para jóvenes, es fundamental considerar la relación entre el desarrollo cognitivo y físico de los participantes y su experiencia en entrenamiento. En cuanto a la edad cognitiva, un niño debe tener la capacidad intelectual para entender instrucciones y recibir retroalimentación constructiva sobre el desempeño de habilidades o el cumplimiento de las directrices del programa. Por ejemplo, aunque no hay evidencia que establezca una edad mínima específica para participar en programas de EF, generalmente se acepta que los participantes deben ser capaces de seguir las indicaciones del entrenador y manejar las demandas de atención que implica un programa de entrenamiento. Diversos estudios indican que un niño considerado apto para participar en deportes estructurados

(alrededor de los 7 u 8 años) normalmente estaría preparado para algún tipo de EF (74). Sin embargo, un informe clínico reciente señala que la mayoría de los niños comienzan a involucrarse en actividades deportivas entre los 5 y 7 años de edad (57), y es razonable pensar que también podrían iniciar algún tipo de EF, como ejercicios con el propio peso corporal.

Implementación del entrenamiento de fuerza en contextos escolares

La escuela es un entorno ideal para promover el entrenamiento de fuerza entre niños y adolescentes. Dado que los estudiantes pasan una parte considerable de su tiempo en este entorno, integrar actividades de fortalecimiento muscular en las clases de educación física puede ser una estrategia eficaz para mejorar la salud y el bienestar de los jóvenes (83). Los programas de entrenamiento de fuerza en el ámbito escolar no solo tienen el potencial de mejorar la aptitud muscular, sino que también pueden influir en otros aspectos, como la disciplina, la cohesión social y la motivación hacia la actividad física. Kennedy et al., (2021), destacan que la implementación de programas de entrenamiento de fuerza en las escuelas debe considerar ciertos factores clave, como la capacitación de los profesores, la disponibilidad de equipo adecuado y la adaptación de los programas a las necesidades individuales de los estudiantes. En este sentido, se sugiere que los programas deben ser diseñados de manera progresiva y que incluyan tanto ejercicios con peso corporal como con resistencia adicional para asegurar un desarrollo muscular equilibrado y seguro.

En su revisión de la literatura, Kennedy (98); Robinson (99), encontraron que los programas de entrenamiento de fuerza en las escuelas también pueden tener un impacto positivo en los resultados académicos. Según los autores, los estudiantes que participan en programas de fortalecimiento muscular mejoran su capacidad de concentración, lo que a su vez puede llevar a

un mejor rendimiento en las tareas escolares. Este hallazgo sugiere que las intervenciones basadas en el ejercicio no solo son beneficiosas para la salud física, sino también para el desarrollo cognitivo.

Programas efectivos: recomendaciones basadas en la evidencia

Diversas investigaciones han propuesto recomendaciones para el diseño y la implementación de programas de entrenamiento de fuerza dirigidos a jóvenes. Faigenbaum & McFarland (97), establecen que un programa de entrenamiento de fuerza efectivo para niños y jóvenes debe incluir ejercicios que involucren todos los grupos musculares principales, ser progresivo en términos de la dosis del entrenamiento y priorizar la correcta técnica de ejecución. Los autores sugieren que el enfoque debe ser en la calidad del movimiento en lugar de la cantidad de peso levantado, especialmente en etapas tempranas del desarrollo. En ese sentido, Stricker et al., (57), subrayan la importancia de adaptar los programas a las capacidades individuales de los estudiantes. Aunque todos los adolescentes pueden beneficiarse del entrenamiento de fuerza, es esencial tener en cuenta las diferencias en el desarrollo físico y las habilidades motrices. Un enfoque personalizado no solo reduce el riesgo de lesiones, sino que también mejora la efectividad del entrenamiento, ya que cada estudiante puede progresar a su propio ritmo.

Otra recomendación clave es la inclusión de una variedad de ejercicios que mantengan a los estudiantes motivados y comprometidos con el programa (57). Alternar entre ejercicios de resistencia con el peso corporal, como las sentadillas y flexiones, y ejercicios con equipamiento, como mancuernas o bandas elásticas, puede hacer que las sesiones sean más dinámicas y atractivas para los adolescentes. Asimismo, la variación de los tipos de ejercicios ayuda a mejorar la fuerza de

manera equilibrada, evitando la especialización temprana que puede llevar a desequilibrios musculares.

Finalmente, Faigenbaum et al., (97), recomiendan que el entrenamiento de fuerza en jóvenes no se enfoque exclusivamente en mejorar el rendimiento deportivo, sino que se vea como una oportunidad para desarrollar hábitos saludables que perduren a lo largo de la vida (Fig. 22). Esto es particularmente importante en el contexto escolar, donde se busca no solo el desarrollo físico, sino también la promoción de un estilo de vida activo y saludable.

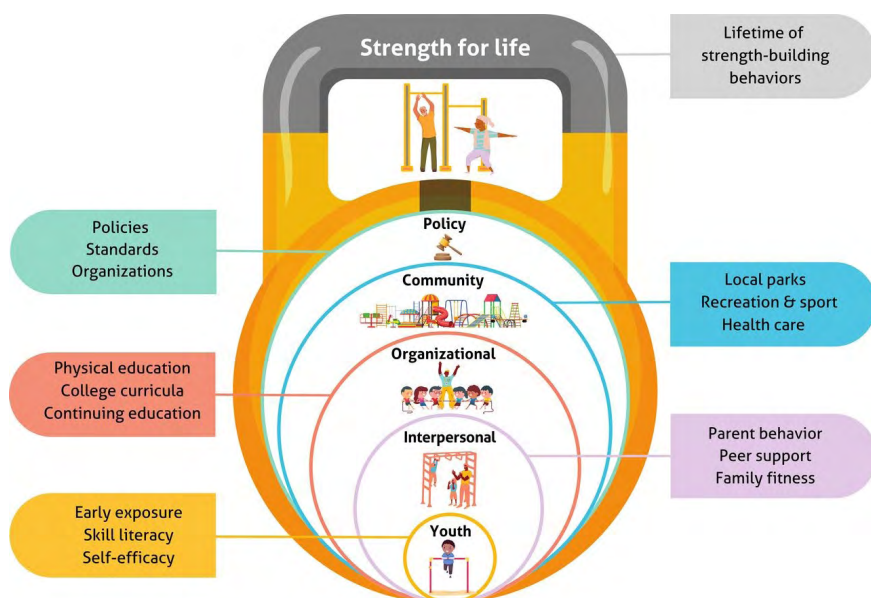


Figura 22. Enfoque socio-ecológico para construir jóvenes más fuertes para la vida
Fuente: Faigenbaum et al. (89)

Beneficios cognitivos y académicos

Un área emergente de investigación es el impacto del entrenamiento de fuerza en el desarrollo cognitivo de los jóvenes. Diversos estudios han sugerido que el ejercicio físico, incluyendo el entrenamiento de fuerza, puede mejorar

funciones cognitivas como la memoria, la atención y la capacidad de resolución de problemas (Fig. 23) (100,101). Los mecanismos detrás de estas mejoras cognitivas están relacionados con el aumento en el flujo sanguíneo cerebral y la liberación de factores neurotróficos derivados del ejercicio, los cuales promueven el crecimiento y la plasticidad neuronal. Además, la reducción del estrés y la ansiedad a través del ejercicio físico puede mejorar el ambiente de aprendizaje, creando condiciones más favorables para la adquisición de conocimientos. En un contexto escolar, esto significa que los programas de entrenamiento de fuerza no solo deben ser vistos como una herramienta para mejorar la condición física, sino también como un medio para potenciar el desarrollo cognitivo y académico de los estudiantes. Mavilidi et al., (103) sugieren que integrar descansos activos durante las clases teóricas podría ser una estrategia efectiva para mejorar la atención y el rendimiento escolar en general.

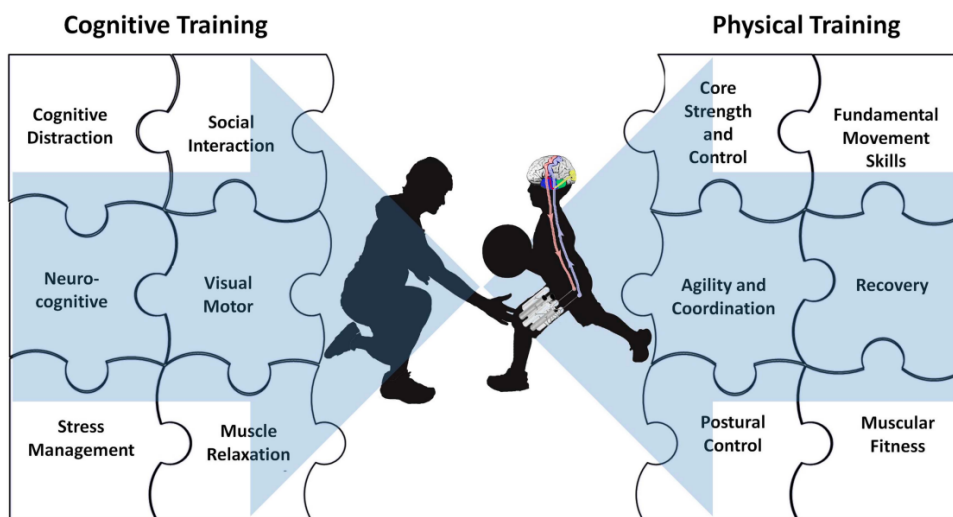


Figura 23. El entrenamiento de la fuerza puede mejorar la atención, memoria, concentración, las funciones ejecutivas y el rendimiento académico. Fuente: Myer et al., (101)

La capacidad cardiorrespiratoria

Introducción

La capacidad cardiorrespiratoria constituye uno de los pilares esenciales de la condición física relacionada con la salud y representa un indicador fundamental del funcionamiento integrado de los sistemas cardiovascular, respiratorio y metabólico. Su evaluación, comúnmente realizada mediante el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) o el VO_2 pico, ofrece una medida objetiva de la eficiencia del organismo para sostener esfuerzos prolongados e intensos. De hecho, organismos internacionales como la OMS reconocen al VO_2 máx. como uno de los marcadores más sólidos de salud física y rendimiento aeróbico en población infantil y adolescente.

Durante las últimas décadas, la literatura científica ha resaltado la relevancia de esta capacidad en edades tempranas debido a su estrecha relación con múltiples indicadores de bienestar y riesgo cardiometabólico. En niños y adolescentes, niveles adecuados de capacidad cardiorrespiratoria se asocian con perfiles lipídicos más saludables, menor resistencia a la insulina, menor acumulación de masa grasa y una reducción significativa en la probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares en etapas posteriores de la vida. Asimismo, estudios longitudinales han evidenciado que una buena aptitud física durante la infancia predice, de manera robusta, un mejor estado de salud cardiovascular en la adultez.

El desarrollo de la capacidad cardiorrespiratoria está condicionado por factores como el crecimiento biológico, la maduración sexual y los cambios en la masa corporal, el volumen cardíaco, la oxigenación muscular y la economía de movimiento. Estas adaptaciones permiten comprender las diferencias entre sexos y los cambios observados entre los 8 y 16 años, etapa en la que se producen incrementos sustanciales en el VO_2 pico, especialmente en los hombres. Paralelamente, las vías energéticas implicadas en el rendimiento aeróbico (oxidativa y glucolítica) evolucionan con la edad, modulando la capacidad de recuperación, la tolerancia al esfuerzo y la potencia generada durante actividades intermitentes o de alta intensidad.

En el ámbito escolar, comprender estos procesos resulta fundamental para diseñar intervenciones pedagógicas que fomenten la mejora de la capacidad cardiorrespiratoria. Métodos como el entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), los esprints repetidos, los juegos reducidos y los enfoques combinados han demostrado ser eficaces y adaptables a las características fisiológicas, cognitivas y sociales de los niños. La evidencia sugiere que incluso sesiones breves, cuando se desarrollan con intensidades adecuadas, pueden generar mejoras significativas en el VO_2 pico y en la salud general, reforzando la importancia del papel del docente de Educación Física como agente de promoción de estilos de vida activos y saludables.

En general, estos elementos justifican la necesidad de comprender, evaluar y promover la capacidad cardiorrespiratoria en edades tempranas, no solo como indicador de rendimiento físico, sino como un determinante clave de salud pública. A partir de este marco conceptual, el presente documento profundiza en sus bases teóricas, su desarrollo evolutivo, los sistemas energéticos que la sustentan y las metodologías más efectivas para optimizarla en contextos educativos.

Bases teóricas de la capacidad cardiorrespiratoria

La capacidad cardiorrespiratoria, se refiere a la habilidad integral de los sistemas cardiovascular y respiratorio para sostener un esfuerzo físico prolongado e intenso. El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx), medido durante un ejercicio llevado al límite del agotamiento, ha sido reconocido por la OMS como un indicador sobresaliente de la eficiencia individual de la capacidad cardiorrespiratoria. Aunque existen diversas metodologías para expresar el VO_2 máx, la más común consiste en estimar el volumen de oxígeno consumido por unidad de tiempo en relación con la masa corporal. Además, un indicador alternativo de la capacidad cardiorrespiratoria es el VO_2 pico, que se mide en condiciones controladas de laboratorio y refleja la tasa máxima de oxígeno que los músculos pueden consumir durante una prueba de esfuerzo físico realizada hasta el agotamiento (103).

La capacidad cardiorrespiratoria es una de las principales cualidades de la condición física vinculada con la salud. Esta capacidad ofrece una evaluación directa del estado general de salud y, en particular, del funcionamiento del sistema cardiovascular, respiratorio y metabólico en niños y adolescentes (104). Además, se ha determinado que los valores de referencia para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares varían entre 41,8 y 47,0 ml/kg/min en niños, y entre 34,6 y 39,5 ml/kg/min en niñas (105).

Estudios recientes han destacado la importancia de evaluar la capacidad oxidativa en niños y adolescentes. Un nivel moderado a alto de capacidad aeróbica no solo reduce el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, sino que también prolonga la esperanza de vida en esta población. Además, mejorar la capacidad cardiorrespiratoria se vincula con una mayor calidad de vida, tanto en individuos sanos como en aquellos con alguna patología. Asimismo, esta capacidad ha

mostrado una relación inversa con varios indicadores de salud en niños desde edades tempranas, incluyendo el perfil lipídico, la resistencia a la insulina, la masa grasa, así como factores asociados al síndrome metabólico y la resistencia arterial. La evidencia de estudios longitudinales e intervenciones sugiere que un mayor nivel de condición física, incluyendo la capacidad cardiorrespiratoria, la fuerza muscular y una composición corporal adecuada durante la infancia y adolescencia, se asocia con un perfil cardiovascular más saludable y una menor probabilidad de desarrollar enfermedades cardiovasculares en el futuro (105).

En la Figura 24, se expone la relación entre el concepto de ejercicio físico y los componentes de la condición física, entre los cuales se encuentra la capacidad cardiorrespiratoria.

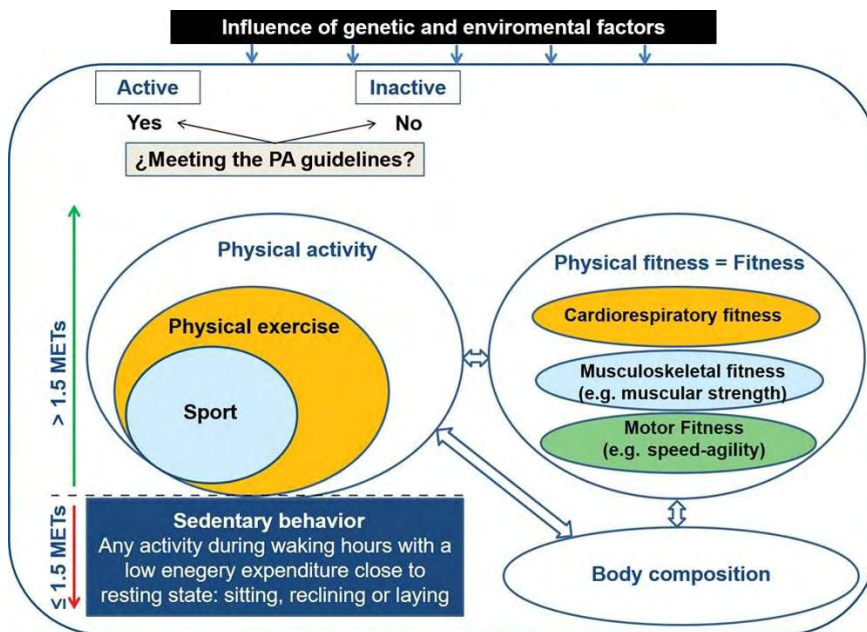


Figura 24. Relación entre el ejercicio físico y los componentes de la condición física.
Fuente: Ruiz et al. (106)

Desarrollo evolutivo de la capacidad cardiorrespiratoria

Esta capacidad física está influenciada por tres factores fisiológicos clave: el consumo máximo de oxígeno, el umbral de lactato y la eficiencia en la carrera. El pico máximo de oxígeno, o consumo máximo de oxígeno, es el principal determinante de la capacidad oxidativa, ya que refleja tanto el gasto cardíaco como la capacidad de los músculos para extraer y utilizar energía. En los niños, el VO_2 pico aumenta en un 150 %, mientras que en las niñas se incrementa en un 80 % entre los 8 y 16 años. Este crecimiento está relacionado con el aumento del tamaño corporal, el volumen cardíaco y el volumen sanguíneo (103). Los estudios epidemiológicos muestran que, en promedio, los niños presentan valores de VO_2 pico más altos que las niñas, con una diferencia aproximada del 10 % a los 10 años, la cual se incrementa progresivamente: 25 % a los 12 años, 30 % a los 14 años y cerca del 35 % a los 16 años. Este dimorfismo sexual ha sido asociado a factores fisiológicos como diferencias en el tamaño y la composición corporal, así como en la concentración de hemoglobina en sangre (107,108).

En la Figura 25 se expone el desarrollo evolutivo del VO_2 pico representando la evolución de la capacidad cardiorrespiratoria a lo largo de diferentes etapas.

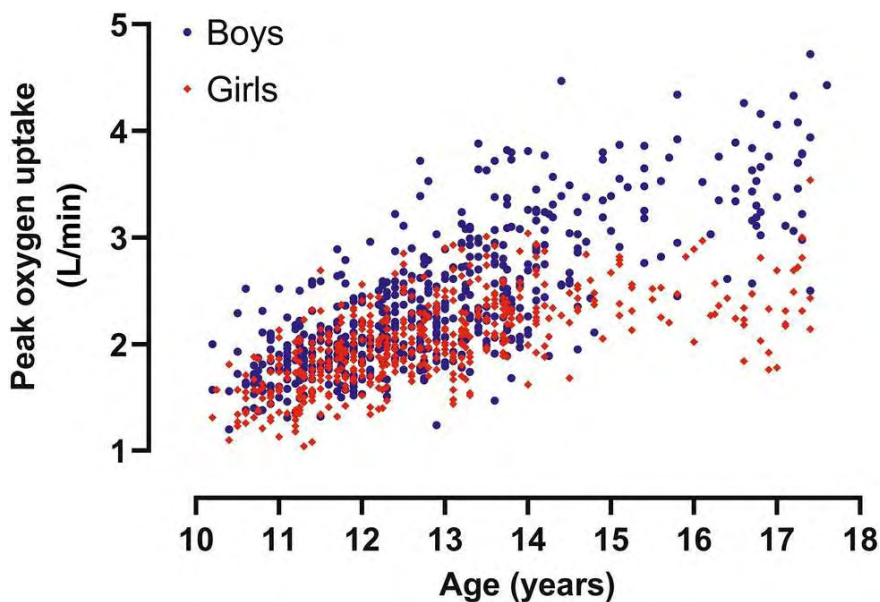


Figura 25. Aptitud aeróbica en relación con la edad en niños y niñas de 10 a 17 años.
Fuente: Ortega et al. (107)

En cuanto al metabolismo muscular, los niños presentan una menor actividad glucolítica y dependen en mayor medida del sistema aeróbico para obtener energía, en contraste con los adultos (107-109). Esto implica que, a menor edad, la producción de ácido láctico es más baja, lo que reduce la fatiga inducida por el ejercicio. De hecho, los jóvenes cuentan con una mayor capacidad de recuperación y una mejor habilidad para sostener ejercicios de alta intensidad en comparación con los adultos (107,108).

Finalmente, es importante señalar que la economía de carrera tiende a mejorar con la edad, lo que disminuye el consumo de oxígeno asociado a esta actividad, con una reducción aproximada del 20 % entre los 5 y los 18 años en niños y niñas. Esta mejora puede atribuirse a factores como el aumento del tamaño corporal, el incremento de la fuerza y el perfeccionamiento de la técnica de carrera.

En la literatura científica, la capacidad cardiorrespiratoria se ha clasificado tradicionalmente según el sistema energético implicado (107–109). Esta distinción conceptual diferencia entre la capacidad aeróbica y la glucolítica. A continuación, se detallan los factores determinantes específicos que definen cada uno de estos sistemas.

La Capacidad Oxidativa

La capacidad oxidativa se refiere a la habilidad de transportar oxígeno desde la atmósfera hacia los músculos y utilizarlo para generar energía, satisfaciendo las demandas metabólicas durante el ejercicio. Durante mucho tiempo se sostuvo la creencia de que los niños no lograban adaptaciones significativas a los estímulos que desarrollan la capacidad oxidativa o glucolítica, debido a que los niveles óptimos de hormonas androgénicas no se alcanzan hasta la pubertad. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que no existe una etapa específica para entrenar esta capacidad, indicando que puede mejorarse a cualquier edad, siempre que el diseño de las actividades respete los principios adecuados para cada grupo etario (109). En la Tabla 3 se describen los factores clave a considerar al diseñar sesiones dirigidas a mejorar la capacidad oxidativa en los jóvenes.

Factores	Descripción
Genética	La respuesta al entrenamiento estará influenciada por la genética.
Madurez	No hay necesidad de alinear el entrenamiento con periodos específicos de maduración.
Niveles basales	Se espera que aquellos jóvenes con bajos niveles iniciales de condición física respondan más al entrenamiento.
Tipo de ejercicio	Tanto el entrenamiento continuo como el interválico podrán tener éxito, aunque el último es probable que produzca mayores mejoras.

Frecuencia	Tres clases por semana.
Duración de la sesión	30-60 min.
Intensidad	La intensidad es crucial; 85% de la frecuencia cardíaca máxima.

Tabla 3. Diseño de sesiones de ejercicio para mejorar el VO₂ pico en niños. Factores que considerar para el diseño de sesiones de ejercicio con el objetivo de mejorar el VO₂ pico (capacidad aeróbica) en niños. Fuente: Armstrong (109)

Antes de la pubertad, niños y niñas muestran respuestas fisiológicas similares a los programas orientados a mejorar la capacidad aeróbica, lo que sugiere que el sexo no juega un papel relevante en esta etapa del desarrollo. Sin embargo, durante la pubertad se produce una mejora natural en esta capacidad, coincidiendo con el pico de crecimiento en altura, que ocurre alrededor de los 14 años en los niños y 12 en las niñas. Esta mejora se debe principalmente a los cambios en la maduración de los sistemas musculoesquelético y cardiorrespiratorio (103).

Diversos artículos de revisión y declaraciones de expertos han concluido que niños y adolescentes responden de manera favorable al entrenamiento de la capacidad aeróbica. La mayoría de la evidencia se ha centrado en el VO₂ pico, indicando que los programas de entrenamiento a corto plazo pueden mejorar este indicador en un 5-8 % en ambos sexos (107).

La Capacidad Glucolítica

La capacidad glucolítica mejora conforme aumenta la edad y el nivel de maduración de los jóvenes (Fig. 26). El desarrollo de la capacidad glucolítica está influenciado por tres factores clave.

- El incremento de la masa muscular.
- El incremento de la actividad glucolítica.
- Una mejora de la coordinación neuromuscular.

A medida que los niños crecen, mejoran su capacidad para generar energía mediante la glucólisis citoplasmática, lo que

les permite ser más rápidos y potentes. Sin embargo, este incremento de potencia viene acompañado de una mayor fatiga y una reducción progresiva en su capacidad de recuperación. Así, la habilidad para esprintar y realizar ejercicios intermitentes se desarrolla conforme avanzan los cambios asociados a la maduración biológica.

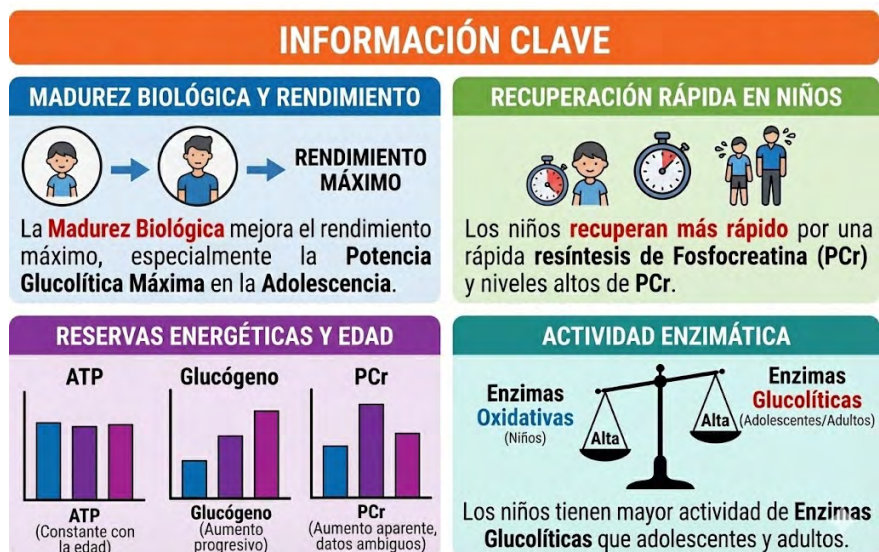


Figura 26. Información clave del metabolismo oxidativo y glucolítico. Fuente: Ortega et al., (107) Armstrong and Welsman (108)

Diseño de actividades para mejorar la capacidad cardiorrespiratoria

Aunque la capacidad aeróbica y anaeróbica se consideran conceptos distintos, el desarrollo de ambas es esencial para los estudiantes en edad escolar. Si bien los ejercicios prolongados pueden mejorar la capacidad aeróbica, los niños, por naturaleza, tienden a participar en actividades intermitentes y de corta duración. Además, se ha demostrado que los ejercicios de alta intensidad son igualmente efectivos, e incluso superiores, a los de larga duración para mejorar la capacidad oxidativa (110). En este contexto, los docentes de Educación Física pueden

emplear enfoques metodológicos combinados, adaptados a las características del entorno escolar.

Aunque se ha demostrado que sesiones de 30 minutos son efectivas para mejorar esta capacidad física, los ejercicios interválicos de alta intensidad han evidenciado que actividades de solo 4 minutos también pueden generar mejoras. Si bien los resultados dependen de la intensidad, la duración de la actividad y el enfoque en la capacidad aeróbica o glucolítica, la regla fundamental es clara: para optimizar esta capacidad, es crucial incorporar ejercicios de alta intensidad en las sesiones de entrenamiento. El enfoque mixto intermitente es un método que demuestra cómo es posible mejorar tanto la capacidad oxidativa como la glucolítica a través de diversas actividades, tales como ejercicios tradicionales (correr, ciclismo, etc.), el trabajo analítico de la condición física y juegos modificados, entre otros.

A continuación, se exponen algunos de los diferentes métodos que se pueden utilizar para mejorar esta capacidad condicional en Educación Física a través de un enfoque mixto (Fig. 27):



Figura 27. Estrategias de entrenamiento para el desarrollo metabólico infantil. Método recomendado para mejorar la capacidad oxidativa y glucolítica en niños (esprints, ejercicios de alta intensidad, modificación de juegos cortos, deportes, circuitos. Fuente: Elaboración propia.

Protocolos y propuestas de actividades

Repetición e sprints

Aunque no existe un consenso preciso sobre las características ideales de los sprints para optimizar esta capacidad física, se sugiere que los niños recorran distancias de entre 20 y 40 metros, repitiendo el esfuerzo de 5 a 10 veces, con periodos de recuperación que oscilen entre 30 segundos y 3 minutos, realizando un total de 2 a 3 series. En espacios reducidos, se puede añadir cambios de dirección a lo largo del recorrido para adaptar el ejercicio. Es importante considerar que, en general, a mayor edad, la distancia a cubrir debe incrementarse, al igual que el tiempo de descanso entre series. En este contexto, el docente puede diseñar actividades lúdicas, con o sin carga cognitiva, siguiendo estas recomendaciones.

High intensity interval training (HIIT)

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) se refiere a actividades que alternan periodos de esfuerzo intenso. A diferencia de los sprints, en el HIIT la duración del estímulo es mayor y suele incorporar tanto habilidades motrices básicas como especializadas. Generalmente, la intensidad de las tareas debe superar el 90 % de la frecuencia cardiaca máxima en todas las actividades propuestas. En este método, existen nueve variables que se pueden ajustar: el tipo de ejercicio, su duración e intensidad, el tiempo de descanso, su duración e intensidad, el número de series, la duración de cada una, el tiempo de descanso entre series y la intensidad del descanso (Fig. 28).

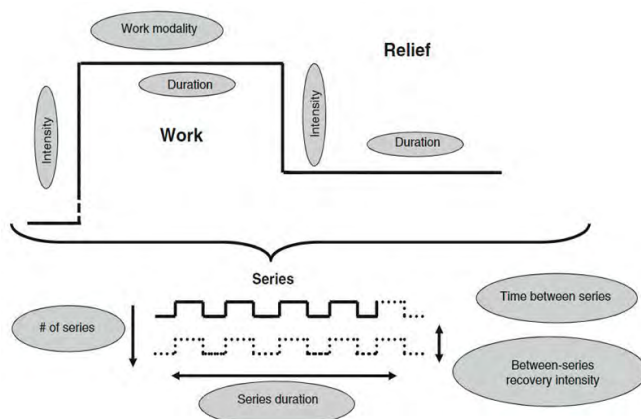


Figura 28. Variables que definen una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT). Ilustración esquemática de las nueve variables que definen una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIT), HIT: entrenamiento interválico de alta intensidad. Fuente: Cao et al., (111).

De forma resumida, las recomendaciones de la aplicación práctica de este método en el ámbito escolar deberían ser: saltos, desplazamientos, repeticiones, tirones, empujes juegos, actividades deportivas, actividades con el propio peso corporal, evitar actividades con tensiones isométricas, evitar actividades de alta complejidad (112).

A continuación, la Figura 29, se presenta un ejemplo práctico de la implementación de un protocolo basado en esta metodología en el contexto de las clases de Educación Física. (113).

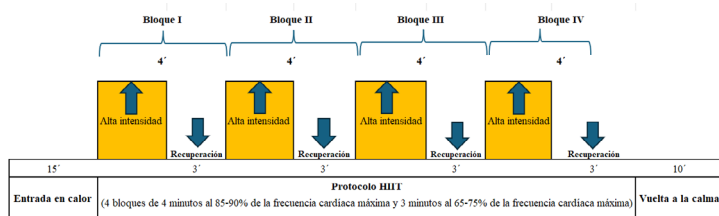


Figura 29. Protocolo HIIT. Ejemplo de un protocolo HIIT para implementar en las clases de Educación Física. Fuente: Bond et al., (113).

Este método se basa en la alternancia de diferentes intensidades junto con la inclusión de habilidades motrices y cambios de dirección. Generalmente, se realiza en grupos de

2 a 6 participantes y no necesariamente está vinculado a una actividad deportiva específica. El estímulo de trabajo consiste en 4 a 6 series de entre 2,5 y 4 minutos, con recuperaciones de 3 minutos entre cada serie. Es fundamental adaptar este enfoque al horario y la frecuencia disponible en la asignatura de Educación Física de cada centro educativo.

La dosis del entrenamiento en este método es flexible. Un ejemplo práctico de su aplicación se puede encontrar en la intervención realizada por Martínez-Vizcaíno et al., (114). En ese estudio, los autores emplearon dos juegos de persecución como parte de una intervención de seis semanas en el ámbito escolar. El primero, denominado Couple tag, consiste en que varios estudiantes (por ejemplo, ocho) se agrupan en parejas y actúan como cazadores, tomados de la mano. Si una pareja logra tocar a otro estudiante que no esté en ese rol, el estudiante tocado se une a uno de los cazadores, mientras que el cazador que queda libre asume el rol de ser perseguido, debiendo evitar ser tocado. Otro juego propuesto por los autores es Dodgers and markers, también de persecución. En este juego, toda la clase se organiza en parejas, donde un miembro debe intentar tocar al otro en un tiempo determinado (generalmente 15 segundos). A la señal del maestro o un pitido, la persecución se detiene y los roles se intercambian. Los jugadores pueden cambiar de pareja durante el juego, buscando tocar al mayor número de compañeros posible mientras evitan ser tocados. Todo esto se realiza dentro de un área de juego delimitada.

Juegos reducidos

Los juegos reducidos se definen como actividades motrices de carácter lúdico que se emplean en la enseñanza de deportes, con menos jugadores por equipo, en espacios más pequeños y con reglas modificadas intencionalmente para cumplir con objetivos específicos. Este enfoque resulta particularmente adecuado en contextos educativos para mejorar la capacidad cardiorrespiratoria. En este sentido, (115), proponen un modelo desarrollado para el ámbito deportivo, pero que es fácilmente

adaptable al contexto escolar (Fig. 30), proponen un modelo de tres etapas para el desarrollo de la capacidad cardiorrespiratoria mediante la utilización de juegos reducidos. La primera etapa se dirige a jóvenes de entre 9 y 12 años, la segunda a aquellos de 13 a 15 años, y la tercera a partir de los 16 años. En cada etapa, los autores sugieren ajustar la dosis de la actividad.

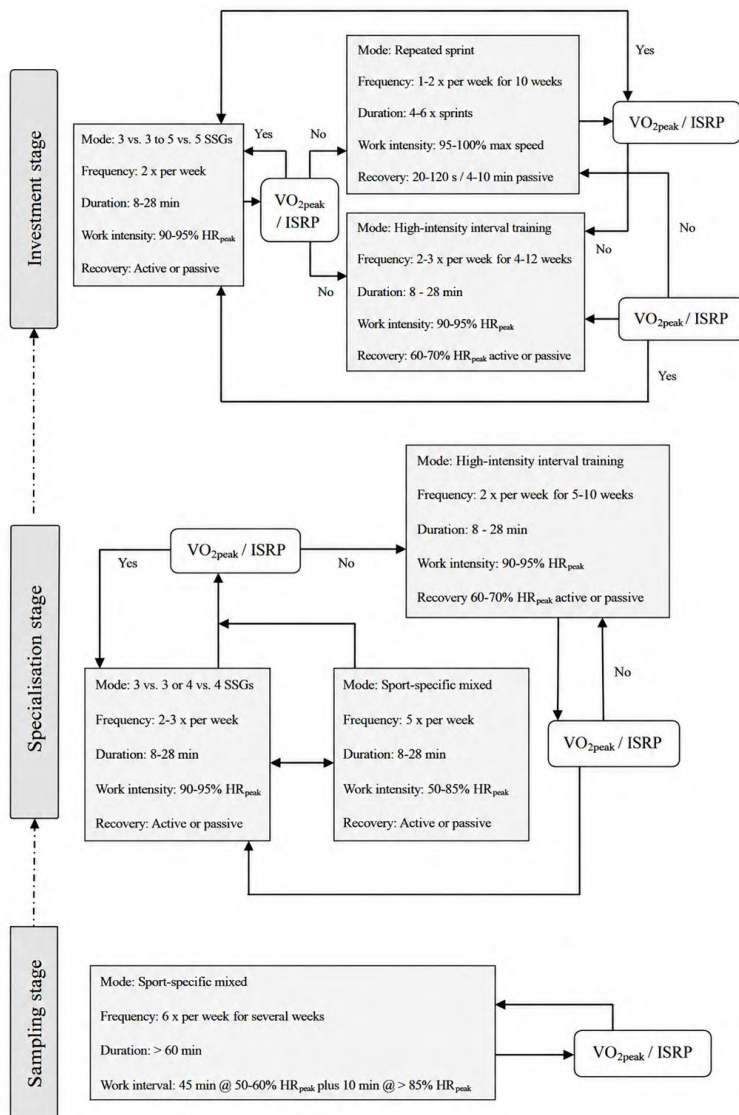


Figura 30. Modelo para el desarrollo de la cardiorrespiratoria en relación con los juegos reducidos, FC: frecuencia cardiaca, V02 pico: Volumen de oxígeno pico. Fuente: Lambrick et al., (115)

Velocidad

Introducción

La velocidad es un factor clave en el éxito deportivo tanto en niños (116) como en adultos (117), siendo un objetivo central en numerosos programas de entrenamiento. Aunque este término engloba la habilidad de moverse con rapidez, en deportes de superficie se ha especificado aún más, considerando aspectos como la rapidez del primer paso (116–118), la aceleración, la velocidad máxima y la velocidad en el juego (119–121). Todos estos elementos de la velocidad probablemente se desarrollan durante la infancia, a medida que los niños crecen y se desarrollan; sin embargo, los procesos que los impulsan y el potencial de entrenar la velocidad a lo largo de la infancia y adolescencia no son del todo claros (116). Lamentablemente, aún falta investigación que explore cómo se desarrollan y entrenan las distintas fases de la velocidad en etapas tempranas de vida.

La velocidad como habilidad fundamental del movimiento

Las habilidades motoras fundamentales (FMS) implican que los niños adquieran destrezas en el control de objetos y habilidades de locomoción, las cuales abarcan acciones como saltar, brincar, correr y esprintar (116). La infancia parece ser una etapa crucial para que los niños desarrollen habilidades de movimiento relacionadas con el esprint. Hasta los 7 años, el sistema nervioso central experimenta un rápido desarrollo, permitiendo que los niños adquieran un patrón de marcha similar al de los adultos

(116,117). Si bien el esprint se suele evaluar en función del rendimiento (p. ej., el tiempo de esprint), es necesario realizar un análisis más detallado para determinar si los niños ejecutan el esprint con competencia y destreza.

En niños, el desarrollo de la velocidad máxima de esprint se presenta de forma no lineal durante la infancia y adolescencia (122), sugiriéndose una aceleración del rendimiento en etapas preadolescentes (entre los 5 y 9 años) y otra en la adolescencia (de los 12 a los 14 años) (122). Aunque estas aceleraciones se suelen relacionar con la edad cronológica, también se ha considerado que la maduración influye en el desarrollo de la velocidad de esprint (123,124). La Velocidad Máxima de Crecimiento (PHV, por sus siglas en inglés) se utiliza frecuentemente como indicador de madurez, definiéndose como la tasa máxima de crecimiento en estatura durante el estirón adolescente. Se ha documentado que las mayores mejoras en la velocidad de esprint se dan entre 8 y 18 meses antes de la PHV (122). De manera opuesta, también se ha observado que estos cambios máximos pueden coincidir con el periodo de PHV; sin embargo, es posible que haya reducciones en la velocidad durante los 12 meses previos a la PHV, lo que enfatiza la naturaleza no lineal del desarrollo de la velocidad (122). Datos recientes de estudios transversales indican que no se observan cambios en la velocidad máxima de esprint entre los grupos de niños que se encuentran de 1 a 3 años antes de la PHV, pero sí se registran incrementos significativos en velocidad en los grupos cercanos y posteriores a la PHV (122-124).

Table Changes in characteristics of maximal sprint performance with advancing maturation			
	Pre-PHV	Circa-PHV	Post-PHV
Speed	≈ or ↑	↑↑	↑
Step length	↑	↑	↑
Step frequency	≈	≈	≈ or ↑
Ground contact time	≈	≈	≈ or ↓
Flight time	≈	≈	≈
Contact length	↑	↑	↑
Flight length	↑	↑	≈ or ↑
Step reliance	Step frequency	Step length	Step length
Absolute vertical force	↑	↑↑	↑↑
Relative vertical force	≈ or ↓	≈ or ↓	≈ or ↓
Horizontal force	↑	↑	↑
Absolute horizontal power	↑	↑↑	↑
Relative horizontal power	↑	↑	↓
Absolute vertical stiffness	↑	↑	↑
Relative vertical stiffness	≈	≈ or ↑	≈
Absolute leg stiffness	≈	≈	≈
Relative leg stiffness	≈	≈	≈ or ↓
≈ = approximately equal or no change; ↑ = trend toward increases; ↑↑ = trend toward large increases; ↓ = trend toward decreases; PHV = peak height velocity.			

Tabla 4. Cambios en las características del rendimiento máximo en el sprint con el avance de la maduración.

Fuente: Oliver et al. (17)

Dada la importancia del esprint en la mayoría de los deportes (116), el desarrollo de habilidades de movimiento locomotor en la infancia debería ser una prioridad (116, 122, 123). Se ha sugerido que esto puede lograrse a través de programas de educación física de calidad. Además, podría ser necesario fortalecer los patrones de coordinación durante la adolescencia, cuando el cuerpo experimenta cambios rápidos en sus dimensiones. En el estudio longitudinal de Philippaerts et al.,

(126), se encontró que el rendimiento en esprint disminuye al inicio del crecimiento acelerado, aproximadamente 12 meses antes de alcanzar la velocidad máxima de crecimiento en altura (PHV). Este descenso en el rendimiento se atribuye al rápido crecimiento de las extremidades, lo que provoca una “torpeza adolescente” y una interrupción temporal en la coordinación motora (116,125).

Factores neurofisiológicos en el desarrollo de la velocidad durante la infancia

Se ha planteado que el desarrollo de la velocidad sigue un proceso no lineal a lo largo de la infancia y adolescencia, identificándose aumentos en el rendimiento durante las etapas preadolescente y adolescente (116). Estos incrementos naturales se conocen como periodos de adaptación acelerada; el aumento en la preadolescencia se atribuye principalmente al desarrollo neural, mientras que el aumento en la adolescencia se asocia con el desarrollo mediado por el sistema endocrino (117,123). Algunos investigadores sugieren que estos periodos de adaptación acelerada natural representan momentos clave en los que la capacidad de respuesta al entrenamiento es mayor, e incluso advierten que no aprovechar estos periodos podría limitar el potencial de velocidad en el futuro (116). Sin embargo, estas ideas han sido criticadas por la falta de evidencia empírica que las respalde. Las diferencias de género en el desarrollo de la velocidad se vuelven visibles al inicio de la pubertad, observándose un avance limitado en las niñas durante la adolescencia, mientras que los niños experimentan ganancias significativas (116).

Las adaptaciones en el sistema nervioso central son fundamentales para la mayoría de las mejoras en velocidad observadas en la preadolescencia, ya que los niños optimizan sus patrones de reclutamiento motor y coordinación (116,123). Estas adaptaciones pueden continuar durante la adolescencia,

lo cual podría justificar por qué el modelo de desarrollo a largo plazo del deportista recomienda una ventana de oportunidad para desarrollar la velocidad basada en la edad cronológica, especialmente en las primeras fases de la segunda década de vida (116). La influencia de la maduración en el desarrollo de la velocidad parece considerable, dado que la adolescencia implica un aumento en la longitud de las extremidades, mayor masa muscular, modificaciones en las propiedades intrínsecas de los músculos y tendones, y el desarrollo del metabolismo glucolítico (116,123). Además, se ha evidenciado que las mayores mejoras en la velocidad de esprint ocurren en torno a la PHV, lo que refuerza la influencia de la maduración (116).

Entrenamiento de la velocidad durante la infancia

Basándose en la evidencia revisada sobre la interacción entre crecimiento, maduración y entrenamiento, la Figura 31 ofrece pautas para planificar el desarrollo de la velocidad a largo plazo durante la infancia y adolescencia. Estas pautas deben considerarse como orientaciones en evolución, dado que es necesaria más investigación en este campo. Un programa de entrenamiento a largo plazo debería incluir un enfoque específico en el esprint, complementado con FMS, junto con entrenamiento de fuerza y pliometría para desarrollar un conjunto de habilidades físicas interrelacionadas que favorezcan la velocidad. En la primera infancia, el rápido desarrollo del sistema nervioso central impulsa mejoras aceleradas en las habilidades motoras, por lo que los niños deben participar en actividades que promuevan y perfeccionen habilidades de movimiento locomotor eficiente. Durante la preadolescencia, las adaptaciones al entrenamiento continuarán siendo principalmente neurales, y la preparación física debe enfocarse en mejorar los factores que faciliten una rápida aplicación de fuerza contra el suelo, como la pliometría. Esto debe dirigirse a fomentar zancadas más largas y tiempos de contacto con el

suelo más breves, utilizando ejercicios que imiten los patrones de movimiento y desplazamientos articulares característicos de las diferentes fases del esprint.

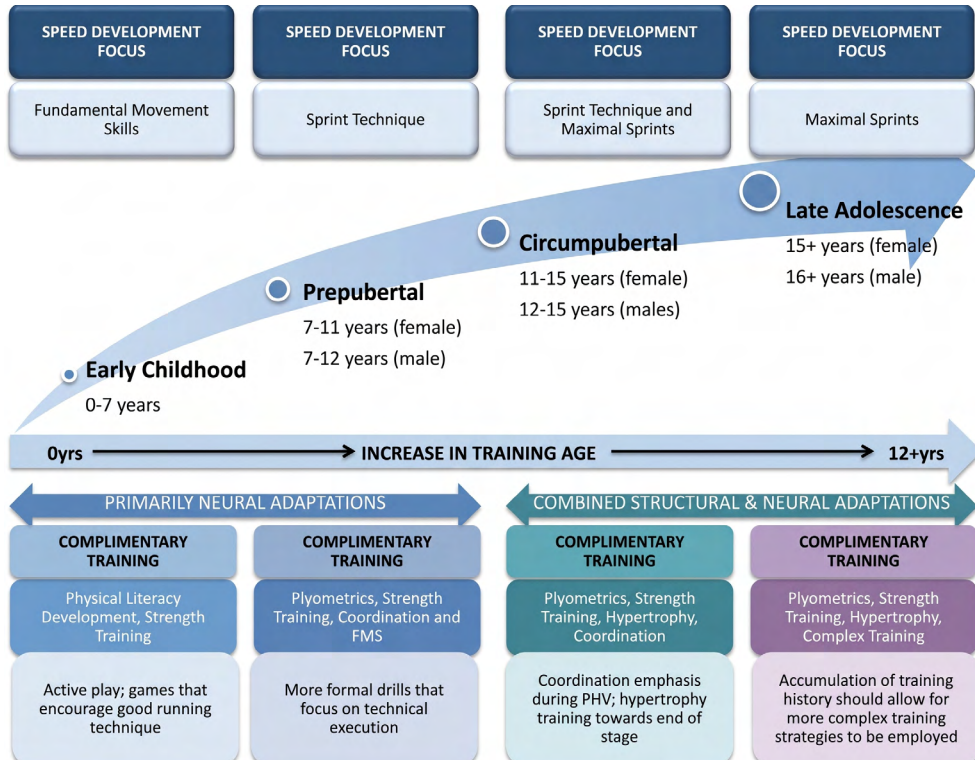


Figura 31. Planificación del entrenamiento para el desarrollo de la velocidad infantil y juvenil. Pautas para la planificación a largo plazo del entrenamiento orientado a optimizar el desarrollo de la velocidad durante la infancia y la adolescencia. Nota: el término “entrenamiento de fuerza” abarca todas las modalidades de entrenamiento de resistencia que sean apropiadas, considerando la capacidad, la etapa de desarrollo y la experiencia de entrenamiento del atleta. Fuente: Oliver et al., (117)

Pausas activas

Introducción

En los últimos años, la integración de la actividad física en el entorno escolar ha ganado un importante protagonismo, impulsada por un creciente cuerpo de investigaciones que respaldan los beneficios cognitivos y la salud física en general (126–133). Las aulas activas, son espacios donde la actividad física se introduce dentro de los currículos escolares, no solo como una estrategia para mejorar la salud de los estudiantes, sino también como una forma de optimizar su rendimiento escolar y sus patrones para su edad (134). Las recomendaciones actuales de la OMS sugieren que los niños y adolescentes deben realizar al menos 60 minutos diarios de actividad física moderada a vigorosa (135). Sin embargo, los datos globales indican que un gran porcentaje de estudiantes no alcanza este nivel recomendado, lo que pone en evidencia la necesidad de estrategias más efectivas dentro del entorno escolar (134). Aquí es donde las aulas activas se presentan como una intervención prometedora.

Las aulas activas y los descansos activos en el entorno escolar tienen el propósito de disminuir el comportamiento sedentario y promover la actividad física sin interrumpir el desarrollo de los contenidos académicos. El concepto de aula activa implica un enfoque en el cual los docentes incorporan actividades físicas breves, pero significativas, dentro del contexto de las asignaturas. A pesar de su brevedad, estas intervenciones han demostrado ser efectivas para mejorar tanto la atención,

memoria y concentración como el rendimiento académico. En ese sentido, Donnelly et al., (149), destacaron que el proceso de enseñanza y aprendizaje basado en actividades físicas no solo mejoraron la salud de los estudiantes, sino también su rendimiento académico general. La implementación de las aulas activas se fundamenta en la relación entre los tres dominios del aprendizaje: el motriz, el cognitivo y el afectivo. Como señaló Mazzoli et al., (139), las funciones ejecutivas son susceptibles de mejorarse a través de la actividad física. Esto es particularmente relevante en los entornos escolares, donde el desarrollo de estas habilidades está directamente relacionado con el rendimiento académico en el ámbito escolar.

Efectos cognitivos de la actividad física en el aula

La literatura ha documentado ampliamente los efectos positivos de las intervenciones de actividad física en las capacidades cognitivas de los niños en edad escolar. Erickson et al. (139) encontraron que la actividad física en el aula puede incrementar la plasticidad cerebral, promoviendo el aprendizaje y mejorando las funciones ejecutivas. Del mismo modo, estudios como los de Álvarez-Bueno et al., (126) han demostrado que los niños que participan en programas de actividad física tienen mejores resultados en tareas de memoria y atención sostenida en comparación con aquellos que permanecen sedentarios durante largos períodos de tiempo. Una de las ventajas más significativas de las aulas activas es mejorar los patrones para su edad. Ruhland & Lange (117) concluyeron que las intervenciones basadas en actividad física en el aula no solo mejoran el comportamiento en clase, sino también la capacidad de los estudiantes para concentrarse en tareas complejas. En cuanto a los mecanismos detrás de estos beneficios, Lubans et al., (113) sugieren que la actividad física favorece una mejor neurogénesis y angiogénesis, lo que puede facilitar procesos cognitivos como la concentración y la toma de decisiones.

Integración de la actividad física en el currículo escolar

El éxito de las aulas activas está altamente condicionado por la forma en que se incorpora la actividad física en el desarrollo de las asignaturas académicas. Los docentes desempeñan un papel fundamental en esta integración, al diseñar estrategias pedagógicas que combinen el movimiento con los contenidos curriculares. Vetter et al., (142) llevaron a cabo un estudio donde los estudiantes participaban en procesos de enseñanza y aprendizaje de matemáticas que involucraban pausas activas, encontrando mejoras tanto en el rendimiento académico como en los niveles de actividad física diaria. Fairclough et al., (143), informaron que los niños que participaron en actividades físicas regulares durante la jornada escolar mostraron patrones de comportamiento más activos fuera del horario escolar, lo que resalta la importancia de estos programas no solo en el contexto académico, sino también en la promoción de estilos de vida más saludables.

A pesar de los beneficios documentados, implementar aulas activas presenta ciertos desafíos. Muchos profesores carecen de la formación necesaria para integrar la actividad física de manera efectiva en sus lecciones, lo que puede generar resistencia a su aplicación (143). Para superar este obstáculo, es fundamental que los docentes reciban capacitaciones específicas que les proporcionen herramientas y estrategias para incorporar el movimiento en el aula sin comprometer la calidad del aprendizaje.

Descansos activos: Estrategia para combatir el sedentarismo

Los descansos activos han surgido como una solución práctica para combatir el sedentarismo en las aulas (144). Estos descansos consisten en breves pausas donde los estudiantes

realizan ejercicios físicos moderados antes de retomar sus actividades académicas. Masini et al., (146) llevaron a cabo una revisión sistemática en la que se destacó que los descansos activos mejoran la salud física y mental de los estudiantes, además de reducir el comportamiento sedentario. Este tipo de intervenciones no solo tiene el potencial de mejorar la condición física de los niños, sino también de fomentar una cultura de movimiento y bienestar en el entorno escolar.

Los descansos activos suelen durar entre 5 y 10 minutos, y su efectividad radica en la frecuencia con la que se realizan a lo largo del día escolar. Un estudio de Peiris et al., (147) reveló que los estudiantes que participaron en pausas activas regulares no solo experimentaron mejoras en su rendimiento académico, sino también en su bienestar emocional. Esto es particularmente relevante en un contexto donde los niveles de estrés y ansiedad en los niños han aumentado debido a las demandas escolares y sociales. Los descansos activos brindan una oportunidad para que los estudiantes liberen tensiones acumuladas y retomen su enfoque con mayor energía y motivación.

Impacto en el rendimiento académico

Numerosos estudios han demostrado que la actividad física en el aula no solo beneficia la salud de los estudiantes, sino también su rendimiento académico (126-128,130,137,138,147). Donnelly et al., (148) realizaron una revisión sistemática en la que se destacó que los niños que participan en intervenciones de actividad física tienden a obtener mejores resultados en pruebas de matemáticas y lectura en comparación con sus compañeros que no están expuestos a estas estrategias. Esto puede atribuirse a la mejora en la capacidad de atención y concentración que se logra tras realizar ejercicio físico, lo cual permite a los estudiantes involucrarse más en sus tareas académicas (126).

Además, las intervenciones basadas en actividad física han mostrado ser particularmente útiles para mejorar las funciones ejecutivas, que incluyen habilidades como la planificación, el control inhibitorio y la memoria de trabajo. Estas funciones son esenciales para el éxito académico y el desarrollo de hábitos de estudio efectivos. En este sentido, Clark et al., (150) destacaron que el desarrollo motor está intrínsecamente ligado al desarrollo cognitivo, y que las oportunidades para moverse y participar en actividades físicas pueden fomentar un mejor rendimiento en tareas académicas complejas. Así mismo, estudios recientes han subrayado que no todas las actividades físicas tienen el mismo impacto en el rendimiento académico. En ese sentido, Tomporowski et al., (151) señalaron que la intensidad y la naturaleza de la actividad física son factores determinantes en la mejora cognitiva.

Intensidad de la actividad física y sus efectos en el aprendizaje

La relación entre la intensidad de la actividad física y sus efectos en el rendimiento académico ha sido objeto de varios estudios. Mientras que las actividades físicas moderadas a vigorosas tienden a generar beneficios más evidentes en términos de salud física y bienestar general, las actividades de intensidad baja o moderada pueden ser más eficaces para mejorar el enfoque y la atención en el aula (150). Por ejemplo, las intervenciones basadas en ejercicios aeróbicos ligeros, como caminar o realizar movimientos sencillos en el lugar, han mostrado mejoras en la función cognitiva sin causar fatiga, lo que permite a los estudiantes mantenerse atentos durante las clases.

Un enfoque emergente en este campo es la implementación de intervalos de alta intensidad (HIIT, por sus siglas en inglés) dentro del contexto escolar. Ma et al., (152) llevaron a cabo un estudio en el que se descubrió que tan solo cuatro minutos de actividad física de alta intensidad eran suficientes para

mejorar la atención selectiva en niños de 9 a 11 años. Este tipo de intervenciones cortas y dinámicas han demostrado ser eficientes para fomentar una mayor activación cognitiva sin comprometer el tiempo dedicado al contenido académico.

No obstante, es importante señalar que la naturaleza de la actividad física debe estar alineada con las capacidades físicas y cognitivas de los estudiantes. Mavilidi et al., (153) propusieron que la selección de actividades debe tener en cuenta no solo la intensidad, sino también la relevancia del movimiento en relación con el aprendizaje. Esto sugiere que las actividades físicas más efectivas son aquellas que están integradas de manera coherente con el contenido académico, como se observó en estudios donde los estudiantes resolvían problemas matemáticos mientras se movían activamente por el aula (141).

Consideraciones para la implementación de aulas activas

El éxito de las aulas activas no solo depende de las intervenciones de actividad física en sí mismas, sino también de factores contextuales como la disposición del profesorado y la infraestructura disponible. Según Daly-Smith et al., (130), la falta de tiempo y la percepción de que la actividad física puede interrumpir el aprendizaje son barreras comunes entre los docentes. Sin embargo, cuando se diseñan de manera adecuada, las aulas activas no solo no interfieren con el aprendizaje, sino que lo potencian. En su revisión sistemática, Watson et al., (144) señalaron que los programas de actividad física implementados correctamente pueden aumentar el tiempo de atención en un 20% sin afectar negativamente el tiempo dedicado a las asignaturas académicas. Un aspecto clave para la implementación exitosa es la capacitación de los docentes (153). La capacitación permite a los docentes adquirir las herramientas necesarias para planificar actividades que no

solo promuevan la actividad física, sino que también refuercen los objetivos curriculares.

Beneficios sociales y emocionales de las aulas activas

Además de los beneficios cognitivos, las aulas activas tienen un impacto significativo en el desarrollo social y emocional de los estudiantes. La actividad física en grupo fomenta la colaboración, la empatía y el trabajo en equipo, habilidades esenciales para el desarrollo integral de los niños (154). Las actividades físicas realizadas en el aula también permiten a los estudiantes interactuar de manera diferente con sus compañeros, generando dinámicas que promueven un ambiente más inclusivo y positivo en el aula.

Además, la actividad física en el entorno escolar ha demostrado tener efectos positivos en el manejo del estrés y la regulación emocional. En un estudio llevado a cabo por Masini et al., (156), se observó que los descansos activos no solo mejoraban la atención de los estudiantes, sino que también reducían los niveles de ansiedad y estrés percibidos. Esto es particularmente importante en la actualidad, donde muchos niños enfrentan una presión significativa tanto en el ámbito académico como en el social. Los descansos activos brindan un respiro necesario para los estudiantes, permitiéndoles despejar la mente y retornar a sus actividades con una mayor disposición y enfoque.

A largo plazo, los beneficios emocionales de las aulas activas pueden contribuir a un mejor ajuste psicológico y un aumento en la autoconfianza. Al experimentar mejoras en su rendimiento académico y físico, los estudiantes desarrollan una percepción más positiva de sus propias habilidades, lo que se traduce en una mayor motivación y persistencia frente a los desafíos académicos (132).

Aulas activas y la promoción de estilos de vida saludables

Uno de los objetivos a largo plazo de las aulas activas es inculcar en los estudiantes hábitos de vida saludables que se mantengan más allá del entorno escolar. Los programas que promueven la actividad física dentro del aula no solo tienen beneficios inmediatos para el rendimiento académico y el comportamiento, sino que también influyen en la formación de hábitos de movimiento que pueden perdurar en la vida adulta (141). La introducción de actividades físicas regulares en el currículo escolar ayuda a crear una conciencia sobre la importancia del movimiento y la salud, elementos esenciales para combatir el creciente sedentarismo entre los jóvenes. La integración de la actividad física en el currículo escolar también puede ser vista como una oportunidad para abordar otros aspectos importantes relacionados con los tres dominios del aprendizaje (cognitivo, motriz, y afectivo), con la salud, con la educación nutricional y la importancia del descanso adecuado. Este enfoque integral en la promoción de la salud ayuda a los estudiantes a comprender la interconexión entre sus hábitos diarios y su bienestar general.

Retos en la implementación de aulas activas

A pesar de los numerosos beneficios que ofrecen las aulas activas, su implementación no está exenta de desafíos. Entre los principales obstáculos se encuentran las limitaciones de tiempo en el currículo, la falta de recursos y formación para los docentes, y la percepción errónea de que la actividad física puede interrumpir el aprendizaje. Como señalan Daly-Smith et al., (130), muchos docentes expresan preocupaciones sobre cómo gestionar el tiempo de manera efectiva para cumplir con los objetivos académicos mientras se integran la actividad física.

Una solución a este reto es adoptar un enfoque de “aprendizaje físicamente activo”, donde las actividades físicas se entrelazan con el contenido académico, de modo que los estudiantes se beneficien tanto cognitivamente como físicamente sin perder tiempo en el cumplimiento de los objetivos curriculares. Programas como “Maths on the Move”, estudiado por Vetter et al., (142), han mostrado que es posible enseñar conceptos complejos mientras se realiza actividad física, lo que demuestra que la integración de ambas áreas no solo es posible, sino también efectiva.

Además, para superar las limitaciones en la formación de los docentes, es crucial que los sistemas educativos inviertan en capacitación continua y en la provisión de recursos didácticos que faciliten la implementación de aulas activas. En este sentido, el programa ¡TAKE 10! descrito por Kibbe et al., (154), ha demostrado ser un modelo exitoso, proporcionando a los docentes el apoyo necesario para integrar de manera fluida el movimiento en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Esta capacitación no solo permite una mejor implementación de los programas de actividad física, sino que también cambia las percepciones de los educadores sobre el valor de la actividad física en el aula.

Sostenibilidad y escalabilidad de las aulas activas

Un aspecto clave para garantizar el éxito a largo plazo de las aulas activas es su sostenibilidad y escalabilidad. Implementar intervenciones de actividad física dentro del aula requiere no solo recursos iniciales, sino también un compromiso continuo por parte de las instituciones educativas. La sostenibilidad de estos programas depende de varios factores, como la formación continua de los docentes, la disponibilidad de recursos adecuados y el apoyo institucional (143). Para que las aulas activas se conviertan en una práctica estándar, es necesario que las políticas educativas promuevan la actividad física como

parte integral del currículo escolar, y no como un complemento opcional. Esto implica la colaboración entre diferentes actores, desde los gobiernos hasta los equipos directivos de las instituciones educativas, para crear un marco normativo que apoye estas iniciativas a largo plazo.

Innovaciones en las aulas activas

Con el avance de la tecnología y las nuevas metodologías pedagógicas, las aulas activas están evolucionando hacia formas más innovadoras de integrar la actividad física con el aprendizaje académico. Un ejemplo de ello son las herramientas digitales que utilizan juegos interactivos para fomentar el movimiento mientras los estudiantes aprenden. Aplicaciones como “Just Dance” han sido utilizadas en entornos escolares para mejorar la cognición y el rendimiento académico, como se observó en el estudio de Van den Berg et al., (104), donde los niños mostraron mejoras significativas en su rendimiento tras participar en sesiones de baile activo.

Además, la realidad virtual y la inteligencia artificial están comenzando a jugar un papel en la creación de entornos de aprendizaje activos. Estas tecnologías permiten a los estudiantes participar en actividades físicas que están directamente vinculadas con los objetivos de aprendizaje, creando experiencias más inmersivas y atractivas. Aunque estas innovaciones aún están en sus primeras etapas, tienen el potencial de transformar la manera en que se implementan las aulas activas, haciendo que la actividad física sea una parte integral e indispensable del proceso de aprendizaje. Así mismo, el diseño de juegos educativos basados en el movimiento corporal, como “Maths on the Move” (141), ha demostrado ser una forma efectiva de integrar el ejercicio físico y el aprendizaje académico. Estas intervenciones innovadoras no solo mejoran el rendimiento académico, sino que también aumentan los niveles de actividad física diaria, contribuyendo a la salud en general.

Efectos de las aulas activas en la inclusión educativa

Otro aspecto fundamental de las aulas activas es su capacidad para fomentar un entorno inclusivo en el aula. La actividad física no solo beneficia a los estudiantes desde el punto de vista académico y de salud, sino que también puede ser una herramienta poderosa para promover la inclusión y la equidad en la educación. Las aulas activas ofrecen una oportunidad para que todos los estudiantes participen en actividades significativas, independientemente de sus habilidades físicas o cognitivas, lo que contribuye a reducir las barreras al aprendizaje.

Según el estudio de Bedard et al., (158), las aulas activas pueden ser particularmente útiles para estudiantes con dificultades de aprendizaje o necesidades educativas especiales. Al integrar la actividad física en el proceso de aprendizaje, estos estudiantes pueden acceder a una variedad de métodos de enseñanza que les permiten abordar los contenidos de manera más accesible y personalizada. Además, las aulas activas ayudan a reducir el estigma asociado con las diferencias en el rendimiento académico, ya que todos los estudiantes pueden participar y beneficiarse del movimiento, independientemente de sus capacidades.

Los efectos inclusivos de las aulas activas también se extienden al ámbito socioemocional. Los estudiantes que participan en actividades físicas en el aula tienden a desarrollar mejores relaciones interpersonales y una mayor empatía hacia sus compañeros (154). Esto es especialmente relevante en entornos multiculturales o socioeconómicamente diversos, donde las aulas activas pueden servir como un punto de encuentro común que fomente el respeto y la cooperación entre los estudiantes.

Impacto de los descansos activos en la salud mental y el bienestar emocional

Los descansos activos no solo promueven la actividad física, sino que también tienen un impacto directo en la salud mental y el bienestar emocional de los estudiantes. El estrés, la ansiedad y otros problemas emocionales se están volviendo cada vez más comunes entre los jóvenes debido a las expectativas que los estudiantes enfrenta en relación con su rendimiento académico. Los descansos activos ofrecen una forma efectiva de liberar tensión y proporcionar un respiro mental durante la jornada escolar. El estudio de Peiris et al., (147) reveló que los estudiantes que participaron en descansos activos regulares experimentaron una reducción en los niveles de ansiedad y estrés. Esto se debe a que la actividad física promueve la liberación de endorfinas, neurotransmisores que actúan como un mecanismo natural para mejorar el estado de ánimo y reducir la percepción de estrés. Además, estas sustancias contribuyen a la regulación de la ansiedad, generan una sensación de bienestar general, y favorecen la resiliencia frente a factores estresantes, lo que convierte al ejercicio en una herramienta clave para la salud mental y emocional.

El impacto positivo de los descansos activos en el bienestar emocional también se extiende a mejorar la atención y la concentración. Erickson et al., (140) señalaron que, tras la realización de actividad física, los estudiantes mostraron una capacidad significativamente mayor para concentrarse en las tareas académicas, lo cual se traduce en una mayor productividad y mejores resultados académicos. Este efecto se explica, en parte, porque la actividad física incrementa el flujo sanguíneo hacia el cerebro, optimizando la función cognitiva y facilitando un procesamiento de la información más eficiente y preciso. Además, se ha observado que los descansos activos ayudan a reducir los niveles de fatiga mental, mejoran el estado de alerta y fomentan una actitud positiva hacia el aprendizaje,

lo cual resulta fundamental para mantener una motivación constante y un compromiso activo en el entorno escolar. Asimismo, el movimiento durante los descansos estimula áreas del cerebro vinculadas a la memoria y la retención de información, potenciando la capacidad de los estudiantes para adquirir y consolidar nuevos conocimientos.

El rol de los profesores en la implementación de descansos activos

El éxito de los descansos activos en las escuelas depende en gran medida del papel que juegan los docentes. Estos descansos no pueden ser simplemente una interrupción temporal de una actividad, sino que deben estar cuidadosamente planificados y estructurados para maximizar su efectividad (137). Para ello, es fundamental que los profesores reciban formación específica sobre cómo implementar descansos activos de manera efectiva, adaptándolos a las necesidades de los estudiantes y al entorno escolar. Los profesores que adoptan un enfoque proactivo hacia los descansos activos no solo logran mejorar el comportamiento y la concentración de los estudiantes, sino que también crean un ambiente de aula más dinámico y positivo (148). Además, los docentes que integran estos descansos como parte de su metodología de enseñanza tienden a reportar una mayor satisfacción profesional, ya que observan mejoras tanto en el rendimiento académico como en el comportamiento en general (158,159). La planificación de descansos activos también puede ser una oportunidad para que los profesores se involucren en el diseño de actividades innovadoras que fomenten tanto el aprendizaje como el movimiento. Como se explica en los resultados del estudio de (160), los descansos activos que se integran de manera coherente con los contenidos académicos, como los juegos que incluyen elementos de matemáticas o lenguaje, no solo favorecen el rendimiento físico, sino que también fortalecen la adquisición y comprensión de los conceptos fundamentales.

Beneficios académicos de los descansos activos

Los descansos activos también tienen un impacto directo en el rendimiento académico de los estudiantes. La investigación ha demostrado que los períodos prolongados de sedentarismo pueden afectar negativamente la capacidad de los niños para concentrarse y retener información (144). Los descansos activos, al interrumpir estos largos periodos de inactividad, reactivan la mente y el cuerpo, ayudando a los estudiantes a regresar a sus tareas académicas con una mayor disposición para aprender (143).

Un metaanálisis realizado por Álvarez-Bueno et al., (127) demostró que los estudiantes que participaron en programas de actividad física integrada en el aula mostraron mejoras significativas en áreas como la memoria de trabajo, la atención sostenida y las habilidades de resolución de problemas. Estos efectos se deben, en parte, al aumento del flujo sanguíneo y la oxigenación cerebral que ocurre durante la actividad física, lo cual optimiza la función cognitiva. Además, los descansos activos permiten a los estudiantes manejar mejor la carga cognitiva, dividiendo las tareas en segmentos más manejables y mejorando su rendimiento global en asignaturas como matemáticas y lectura.

En el estudio de Ma et al., (173), los descansos activos de alta intensidad implementados durante solo cuatro minutos demostraron ser suficientes para mejorar significativamente la atención y el desempeño académico de los estudiantes de primaria. Este hallazgo subraya la importancia de las intervenciones breves pero regulares de actividad física dentro del aula, ya que incluso períodos cortos de ejercicio pueden tener un impacto considerable en el aprendizaje.

Efectos en el comportamiento en el aula

Además de los beneficios académicos, los descansos activos tienen un impacto positivo en el comportamiento de los estudiantes en el aula. Los niños que participan en actividad física durante el día escolar tienden a mostrar una mejor regulación emocional y un mayor autocontrol, lo que se traduce en un comportamiento más adecuado, reduciendo la hiperactividad y el déficit de atención (140). El estudio de Bedard et al., (158) encontró que los niños que participaron en descansos activos regulares mostraron una reducción significativa en los comportamientos inadecuados en el aula, como hablar sin respetar el turno, moverse innecesariamente y distraerse fácilmente. Al reducir estos comportamientos, los descansos activos permiten un entorno de aprendizaje más productivo y armónico, beneficiando tanto a los estudiantes como a los docentes.

Así mismo, los descansos activos ofrecen una oportunidad para que los estudiantes descarguen la energía acumulada de manera controlada, lo que resulta en una mayor calma y disposición para las actividades académicas. Esto es especialmente útil en niños más pequeños, que a menudo tienen dificultades para mantenerse quietos durante largos períodos de tiempo (150). La inclusión de la actividad física breve pero intensa durante la jornada escolar permite a estos estudiantes liberar energía y mejorar su capacidad para concentrarse durante jornada escolar.

Recomendaciones para la implementación de descansos activos

Para asegurar el éxito de los descansos activos, es importante que estos se implementen de manera estructurada y consistente. Las intervenciones deben estar alineadas con el horario escolar y adaptadas a las necesidades específicas de cada grupo de

estudiantes. Según el estudio de Donnelly et al., (171), los descansos activos deben planificarse de manera estratégica a lo largo del día escolar, asegurando que los estudiantes tengan oportunidades regulares para moverse y recargar energía antes de volver a la jornada escolar.

Una recomendación clave es que los descansos activos sean cortos y frecuentes. Las pausas de 3 a 5 minutos cada hora pueden ser más efectivas que períodos más largos y esporádicos de actividad física. Además, las actividades deben ser variadas y atractivas para mantener el interés de los estudiantes. Mavilidi et al., (161, 103, 153) sugieren que los descansos activos que involucran juegos interactivos o desafíos físicos son especialmente eficaces para captar la atención de los niños y fomentar su participación. Finalmente, la integración de los descansos activos debe ser flexible, permitiendo a los docentes adaptar las actividades según las necesidades y el contexto de su clase.

Ejercicio físico e impacto en la estructura cerebral y funciones ejecutivas en niños

Introducción

La práctica de la AF conlleva una serie de efectos positivos tanto para el cuerpo como para la salud mental (161), siendo comúnmente considerada como la forma más efectiva de preservar el bienestar general. Reduce la presión arterial (162), contribuye a la pérdida de la masa corporal (163), influye positivamente en el bienestar fisiológico como psicológico (161), mejora la aptitud cardiorrespiratoria (163) y la fuerza muscular (164). Además, se ha observado que puede reducir la incidencia de enfermedades neurodegenerativas (165) (Fig. 32), la enfermedad de Parkinson (166) y los accidentes cerebrovasculares (167). También se asocia con la disminución de los efectos adversos de la isquemia y acelera la recuperación motora (161), trata efectivamente la depresión (161) y disminuye la mortalidad (168) .

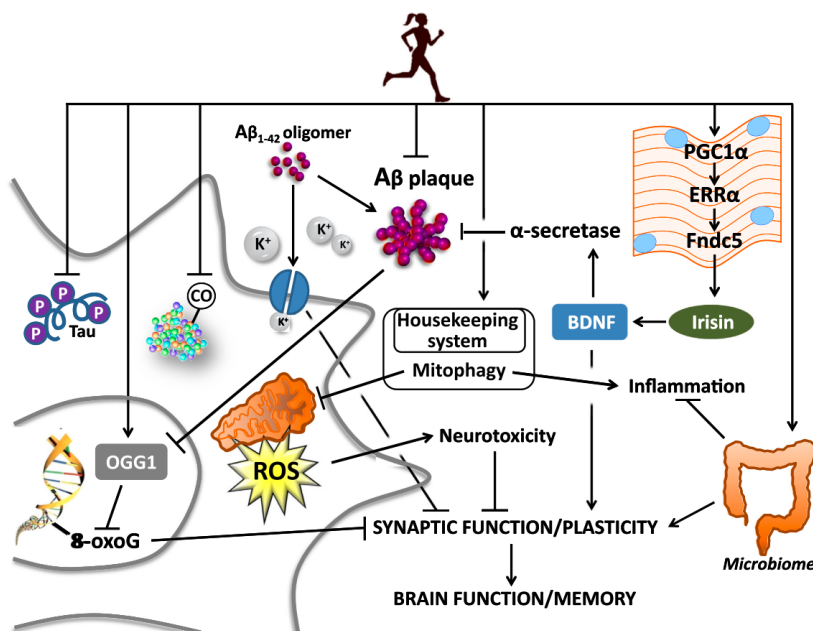


Figura 32. Los efectos protectores del ejercicio sobre la enfermedad de Alzheimer. Fuente: Quan et al., (166)

Otra ventaja de la AF se relaciona con la mejora en las habilidades cognitivas. Los estudios han destacado asociaciones positivas entre la AF y diversos aspectos cognitivos, incluyendo el aprendizaje y la memoria(161), la memoria, la atención, la velocidad de procesamiento y las funciones ejecutivas (169), el tiempo de reacción y el lenguaje (170), las pruebas cognitivas verbales y visoespaciales (171), las habilidades motoras y el aprendizaje (169), así como el rendimiento académico en niños (171).

El cerebro posee la capacidad intrínseca de recuperarse, reestructurarse y adaptarse a nuevas circunstancias (172). Como consecuencia, un estilo de vida más activo puede ejercer influencia sobre la estructura cerebral (171). Diversos estudios han reportado aumentos en el volumen de diversas áreas cerebrales con relación a la actividad física sistemática, como el área motora suplementaria y la corteza prefrontal dorsolateral durante actividades de equilibrio (Fig. 33) (173), la corteza premotora en la planificación de movimientos (174) (Fig. 34), la

corteza motora primaria en tareas de rotación visomotora (161), y el hipocampo en actividades de resistencia (172,175) (Fig. 35). Además de estos incrementos de volumen, la actividad física también se asocia con la prevención de la pérdida de tejido cerebral vinculada al envejecimiento (176).

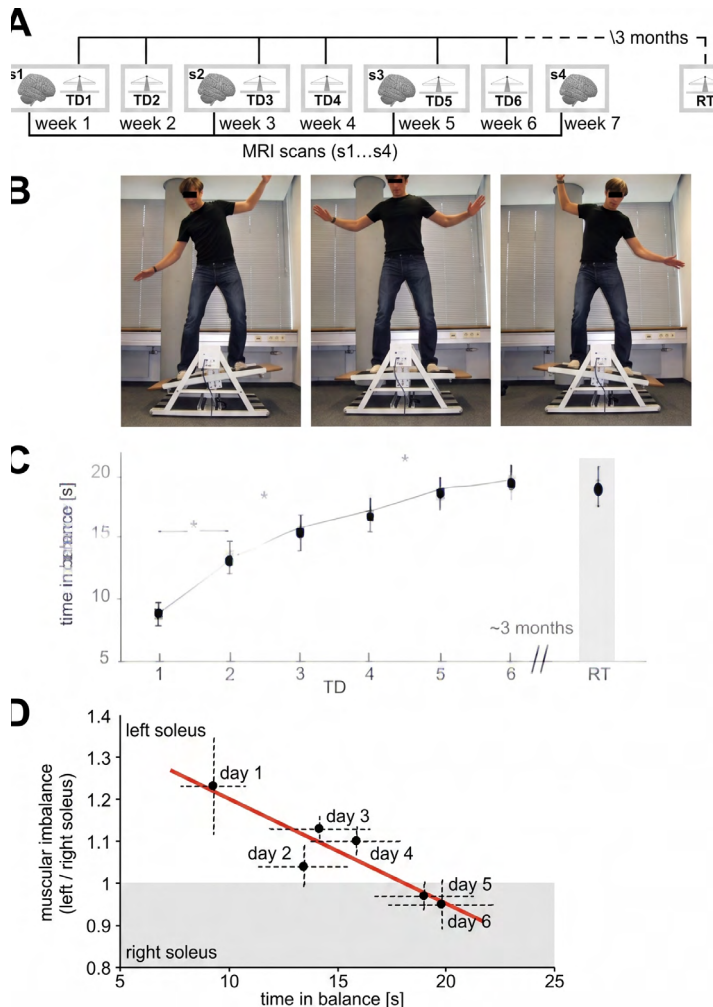


Figura 33. Protocolo experimental para la evaluación del equilibrio dinámico y el aprendizaje motor. El protocolo consistió en 15 pruebas de una tarea de equilibrio dinámico realizadas en seis días de entrenamiento, complementadas con una prueba de retención y retroalimentación verbal tras cada intento. Se efectuaron resonancias magnéticas estructurales en momentos clave del proceso para evaluar cambios neuroanatómicos asociados al aprendizaje. El rendimiento se definió por el tiempo en que la plataforma se mantuvo dentro de $\pm 3^\circ$ durante pruebas de 30 s. Los participantes mostraron mejoras significativas entre días consecutivos y una retención del 95% después de tres meses sin práctica. Además, los desequilibrios musculares se correlacionaron negativamente con el rendimiento, indicando que mayores asimetrías se asociaron con un desempeño motor inferior. Fuente: Ma et al., (173)

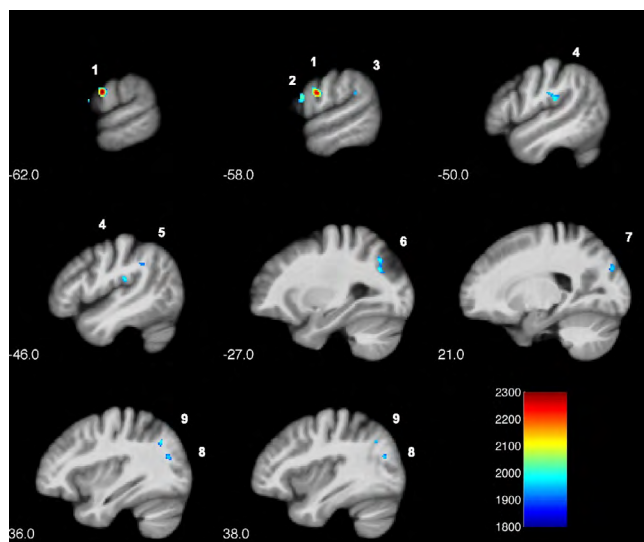


Figura 34. Incremento de la materia gris en practicantes de golf. La materia gris aumenta (cortes sagitales con valor de coordenada x) en el grupo de golf. 1, surco central; 2, corteza premotora ventral; 3, lóbulo parietal inferior rostral; 4, lóbulo parietal inferior rostral; 5, lóbulo parietal inferior rostral; 6, surco intraparietal; 7, unión parietooccipital; 8, lóbulo parietal inferior caudal; 9, lóbulo parietal inferior caudal. La barra de color representa las estadísticas de mejora del clúster sin umbral. Fuente: Bezzola et al., (175)

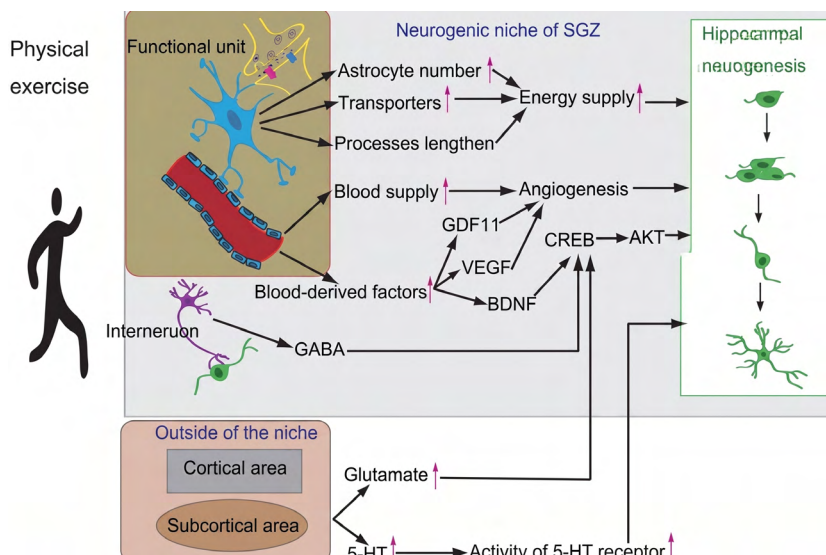


Figura 35. Mecanismos por los cuales el ejercicio físico induce la neurogénesis del hipocampo. Los mecanismos del ejercicio físico inducen la neurogénesis del hipocampo. En el nicho neurogénico de la SGZ, el ejercicio físico puede regular funciones tanto de la unidad funcional como de las interneuronas locales, que regulan positivamente el suministro de energía y la liberación de algunos factores de regulación para mejorar la neurogénesis del hipocampo. El ejercicio físico también puede aumentar la liberación de neurotransmisores como el glutamato y el 5-HT del área cortical o subcortical (fuera del nicho) para promover la neurogénesis del hipocampo. SGZ, zona subgranular; GDF11, factor de diferenciación de crecimiento 11; CREB, proteína de unión a elementos de respuesta a AMPc; VEGF, factor de crecimiento endotelial vascular; BDNF, factor neurotrófico derivado del cerebro; GABA, ácido gamma-aminobutírico; 5-HT, serotonina. Fuente: Bezzola et al., (175) Wassenaar et al., (172)

Existe una correlación significativa entre el volumen de las áreas cerebrales y sus respectivas funciones (p. ej., la asociación entre los volúmenes cerebrales totales y regionales con la función ejecutiva, la velocidad de procesamiento, la inteligencia, la memoria de trabajo, tanto verbal como espacial, y el rendimiento en la adquisición de habilidades) (161,165,169,170). Las interrelaciones entre la función cerebral y su estructura se fundamentan en que el procesamiento de la información neuronal está determinado por el tamaño, la disposición y la configuración de las neuronas, así como por la cantidad y el tipo de conexiones sinápticas que establecen. Además, la calidad de las conexiones con neuronas distantes y las características de las células no neuronales, como la glía, también juegan un papel crucial en este proceso (177).

Mecanismos de plasticidad

Las investigaciones han señalado que volúmenes cerebrales totales y regionales experimentan un incremento en respuesta a la AF. Este fenómeno, definido como neuroplasticidad inducida por actividad, se origina a partir de la interacción entre factores genéticos y ambientales que regulan la adaptación del funcionamiento de las redes neuronales ante las variaciones en el entorno(161). A continuación, se examinan cuatro de los posibles mecanismos responsables de las alteraciones estructurales cerebrales.

- Existe una conexión recíproca entre la vasculatura cerebral y el tejido neural. Por una parte, AF ocasiona un aumento en el flujo sanguíneo cerebral (178) (Fig. 36) y en el volumen (161), para satisfacer las mayores demandas de glucosa y oxígeno en las neuronas activas (161), así como para favorecer el desarrollo de los capilares (179) (Fig. 37) y la cantidad e integridad elevada de los pequeños vasos sanguíneos del cerebro (161). Estos cambios mejoran el rendimiento funcional del cerebro, ya que el incremento

en la densidad capilar conlleva a una reducción en la distancia de difusión del oxígeno desde los vasos sanguíneos hasta las neuronas (161). Dado que alrededor del 5% del tejido cerebral corresponde a la vasculatura (178), una mayor densidad capilar contribuye al aumento del volumen neural. Como resultado, se ha observado una relación entre la perfusión y el volumen del hipocampo (175). Por otro lado, está ampliamente documentado que el incremento en el flujo sanguíneo cerebral estimula la generación de nuevas neuronas (161), estableciendo así un ciclo dinámico entre estos dos factores que contribuye a los cambios en el Volumen Cerebral (VC) (169,177).

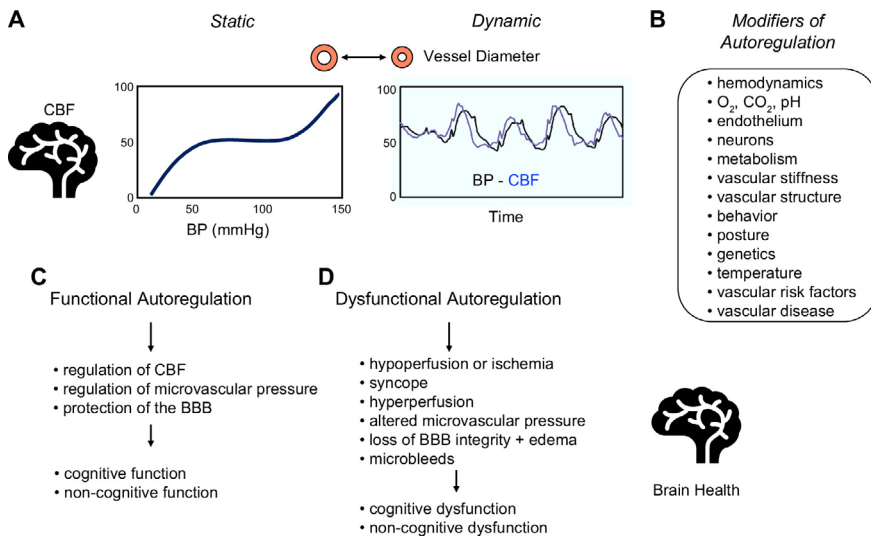


Figura 36. Representación de la autorregulación cerebral: (A) modalidades estática y dinámica, (B) factores hemodinámicos y conductuales que modulan la relación PA-FSC, (C) efectos de una autorregulación intacta y (D) consecuencias del deterioro autorregulatorio en la salud cerebral. Fuente: Claassen et al., (179)

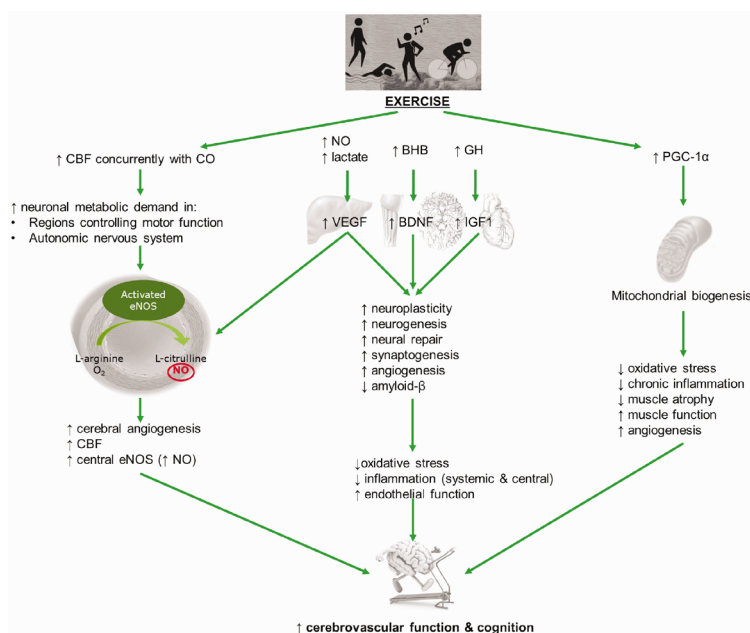


Figura 37. Efectos del ejercicio en la mejora de la función cerebrovascular y cognitiva. Un resumen de los mecanismos potenciales que el ejercicio puede provocar para mejorar la función cerebrovascular y la cognición. FSC: flujo sanguíneo cerebral; eNOS: óxido nítrico sintasa endotelial, NO: óxido nítrico; BHB: beta-hidroxibutirato; GH: hormona del crecimiento; VEGF: factor de crecimiento endotelial vascular; BDNF: factor neurotrófico derivado del cerebro; IGF1: factor de crecimiento similar a la insulina-1; PGC-1α: coactivador 1-alfa del receptor gamma activado por proliferador de peroxisomas. Fuente: Bliss et al., (180)

- La AF puede influir en la estructura cerebral mediante alteraciones neuronales y el desarrollo de nuevas neuronas. Los mecanismos propuestos para estos efectos abarcan el aumento en la proliferación celular (161), la neurogénesis (180), la angiogénesis (172) y la sinaptogénesis (177). También se observa un incremento en la longitud total, complejidad y densidad de las dendritas de las neuronas granulares (161), así como un aumento en el número total de neuronas (181), el número de sinapsis y espinas dendríticas por neurona (161), y cambios en el número de axones, diámetro y ramificación de los axones, además de la mielinización (161). La presencia de neurogénesis en estudios con roedores contradice la creencia previa de que no se generan nuevas neuronas en el cerebro (180,181). Además, la generación de células no neuronales

puede ocurrir en respuesta a la actividad física, ya que los astrocitos y las células progenitoras de oligodendrocitos retienen la capacidad de dividirse, a diferencia de las neuronas maduras, lo que podría resultar en un aumento del número de estas células en el cerebro (161, 165, 169, 172, 177).

- La AF tiene un impacto positivo en la regulación de proteínas clave, como el factor de crecimiento similar a la insulina 1 (IGF-1) y el factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), así como en el aumento del colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL-C), una de las cinco principales lipoproteínas (161,182). Además, se ha observado un incremento en los niveles de factores neurotróficos cerebrales asociados con la PA, como el factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) (183) y el factor de crecimiento nervioso (NGF). Estos factores desempeñan funciones cruciales en la morfología cerebral: el BDNF respalda el crecimiento y la supervivencia neuronal, la poda axonal normal (161), la plasticidad sináptica y la génesis celular (184), además de regular el desarrollo de las células progenitoras de oligodendrocitos (185). Por su parte, el IGF es esencial para la neurogénesis y la potenciación mejorada a largo plazo (182), mientras que el VEGF induce la formación de nuevos vasos sanguíneos (180). Estos factores ejercen un impacto significativo en las posibilidades de neurogénesis y, por lo tanto, contribuyen a las alteraciones de la plasticidad cerebral (161).

Regiones del cerebro y sus funciones

Se ha documentado cambios morfológicos del cerebro asociados con la AF principalmente en regiones vinculadas a funciones motoras (161). No obstante, estas áreas cerebrales asociadas con la AF también juegan un papel crucial en otras funciones

cerebrales. A continuación, se revisan algunas de estas áreas cerebrales y sus funciones, tanto dependientes como no dependientes de la actividad física.

En el lóbulo frontal, las áreas clave para la codificación y recuperación de la memoria son la corteza prefrontal frontal anterior y dorsolateral (186), encargadas también de la inhibición y el control de la atención (161). La participación crucial del área motora suplementaria (AMS) se evidencia en la coordinación de secuencias temporales de acciones, la estabilidad postural y la coordinación bimanual (187), así como en la planificación de movimientos complejos y coordinados (161). La pre-AMS, por su parte, desempeña un papel en el control cognitivo e inhibición de respuestas (188). En relación con el control de los movimientos del brazo y la selección de respuestas, la corteza premotora dorsal es de importancia (170,188). mientras que la corteza premotora ventral derecha se asocia con la imaginación mental y la observación del movimiento (189,190). La circunvolución frontal media, junto con la circunvolución precentral, está implicada en el rendimiento de la memoria de trabajo espacial (161), y la corteza orbitofrontal regula la planificación de conductas (170).

Las estructuras parietales están principalmente asociadas con el procesamiento visuoespacial, el lenguaje y el procesamiento táctil (191), incluyendo la integración visuomotora (192). El parietal inferior cumple la función de recibir y procesar información sensorial relevante para la ejecución de movimientos complejos (192,193), así como percibir el propio cuerpo (193,194). El precuneus, por su parte, coordina movimientos complejos (195), mientras que el parietal posterior se encarga del control de la atención espacial y el control visuomotor (191,192). Además, el giro supramarginal es esencial para la planificación de acciones orientadas a objetivos (196).

Se sugiere que las circunvoluciones temporales media e inferior están vinculadas al aprendizaje motor y la memoria (161). El área temporal media desempeña un papel significativo en las transformaciones visomotoras necesarias para la orientación en el espacio, como, por ejemplo, realizar malabarismos (161,196). Se ha informado que la corteza entorrinal participa en la codificación de entornos espaciales y en la toma rápida de decisiones (197), mientras que el surco temporal superior tiene un papel crucial en la percepción del movimiento biológico (161,197).

Las regiones de procesamiento visual en el lóbulo occipital están involucradas en habilidades motoras complejas (p. ej., la posición de un objeto) (161) o la velocidad de un estímulo en movimiento (161,198). Las áreas occipitotemporales también juegan un papel en la extracción de características, el reconocimiento de formas y la integración de información visual, semántica y fonológica (198).

El hipocampo, ubicado en el lóbulo límbico, es la región que más frecuentemente se asocia con la actividad física. Esta área desempeña diversas funciones, como la memoria espacial (199), las habilidades de navegación y representación espacial (161), la codificación y consolidación de habilidades motoras (200). El parahipocampo también juega un papel en la adquisición de habilidades y la recuperación de información espacial (161). La corteza cingulada anterior se activa para procesar información cognitiva (201), participa en las funciones ejecutivas (202), coordina movimientos complejos (203) y está asociada con la adquisición de memoria espacial (204).

La ínsula, una región multisensorial en las estructuras profundas del cerebro, ha mostrado mayor actividad con el aumento de la intensidad del ejercicio y la percepción del esfuerzo (205). Los ganglios basales desempeñan funciones en la planificación, la memoria de trabajo, el aprendizaje motor y la

integración (206), la ejecución de comportamientos aprendidos y el aprendizaje por refuerzo y estados motivacionales (207).

Tipo, duración y volumen de AF

El tipo de AF emerge como un factor crucial. (188) demostraron que el volumen del hipocampo es mayor en atletas de resistencia en comparación con aquellos en artes marciales, asociando esta diferencia con las distintas habilidades fundamentales requeridas: las artes marciales implican movimientos corporales complejos con un alto nivel de técnicas de equilibrio, mientras que los deportes de resistencia se centran en movimientos repetitivos a lo largo de periodos más extensos (Fig. 38) (188). También existen disparidades entre otros tipos de AF. Por ejemplo, el entrenamiento aeróbico estimula la activación en la red sensoriomotora, el entrenamiento de coordinación desencadena la activación en la red visuoespacial (Fig. 39) (208,209), y el entrenamiento de fuerza altera la actividad en áreas cerebrales vinculadas a la inhibición de la respuesta (210,211). Además, se ha informado que los efectos del estiramiento y la tonificación en el cerebro difieren de los ejercicios más vigorosos (212). Una razón para sus diversas influencias radica en la variabilidad en el nivel de metabolismo energético (Fig. 40) (213), el grado de procesamiento de la información y el nivel de flujos sanguíneo (161). Estas divergencias hacen que las actividades físicas induzcan cambios moleculares y celulares de manera distinta en el cerebro (199).

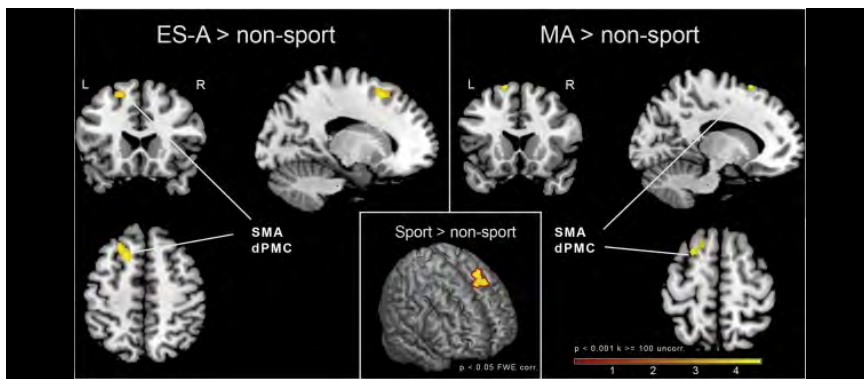


Figura 38. Diferencias estructurales en el volumen de materia gris en el área motora suplementaria entre atletas y no atletas. Se evidencia diferencias estructurales en el volumen de la materia gris en el área motora suplementaria (SMA) entre atletas y el grupo no deportivo. Izquierda: atletas de deportes de resistencia (ES-A) comparados con el grupo no deportivo, Derecha: artistas marciales (MA) comparados con el grupo no deportivo; $p < 0.001$ (sin corregir), $k > 100$. Centro: se combinaron ambos grupos de atletas comparados con el grupo no deportivo; $p < 0.05$ FWE corregido, $k > 100$. Fuente: Schlaffke et al., (189)

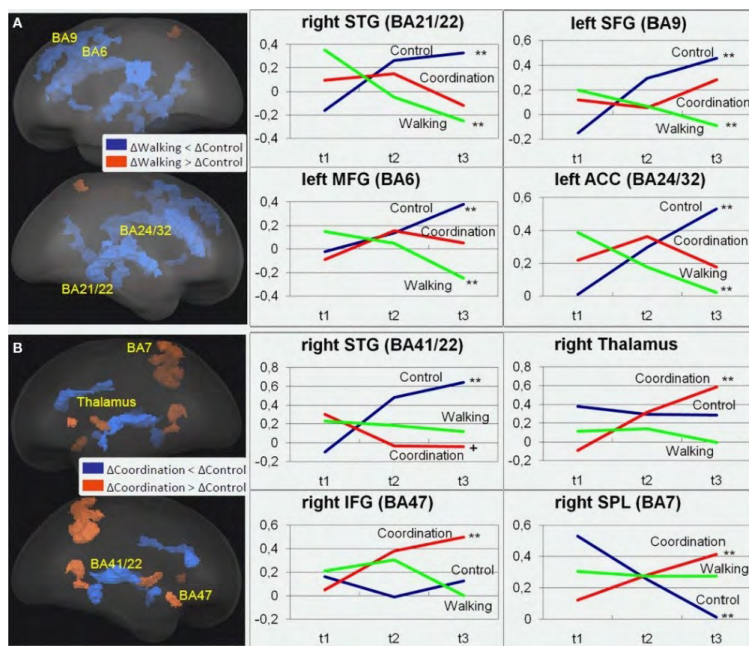


Figura 39. Cambios neurológicos significativos asociados al tipo de entrenamiento físico. Las regiones de interés (ROIs) que revelaron contrastes significativos para (a) entrenamiento cardiovascular (caminar) ($t3-t1$) > grupo de control (control) ($t3-t1$) y (b) grupo de entrenamiento de coordinación (coordinación) ($t3-t1$) > grupo de control (control) ($t3-t1$) se proyectan en un cerebro de vidrio estandarizado normalizado al espacio de Talairach. Nota: para (a) y (b) se indican las ROIs representativas como áreas de Brodmann (ver tabla 2 para descripciones de los clústeres) y para estas ROIs se muestran los cambios en las estimaciones beta desde $t1$ hasta $t3$ a la derecha para los tres grupos experimentales con ** $p < 0.02$, * $p < 0.05$, + $p < 0.1$ (cf. tabla 2). Fuente: Voelcker-Rehage et al., (209)

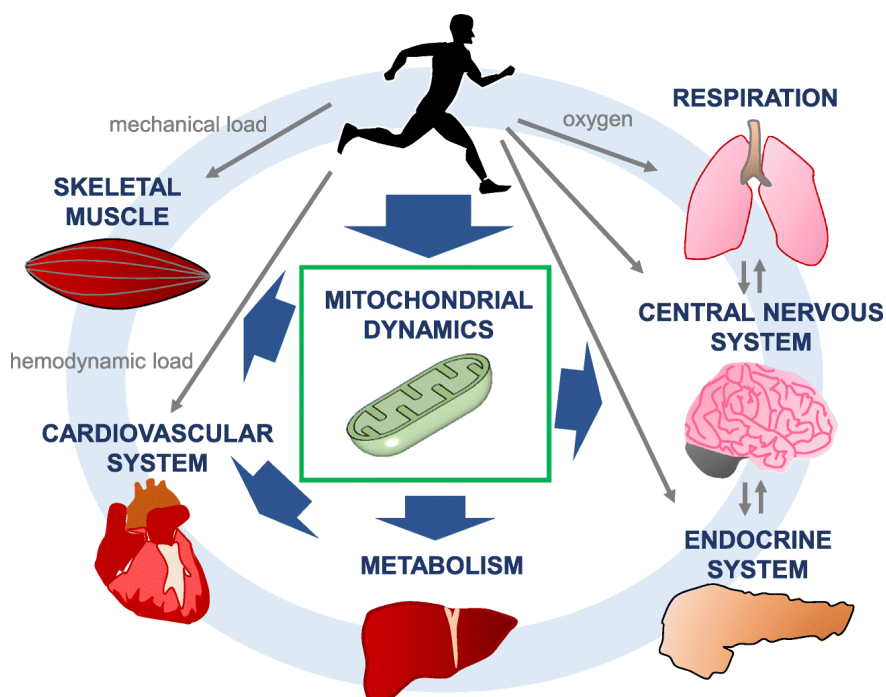


Figura 40. Papel beneficioso multifacético del ejercicio a través del cambio en la dinámica mitocondrial. Fuente: Erickson et al., (213)

Además de la naturaleza específica de la AF, la duración de la práctica también emerge como un factor crucial. Se han evidenciado cambios estructurales en el cerebro después de períodos prolongados, diez años practicando judo (214) o buceo (215), ocho años jugando baloncesto (216), y cinco años en danza (217). No obstante, los cambios pueden manifestarse en plazos más breves: 26 semanas de press de pecho y piernas (218), 138 días de ejercicio aeróbico (219), 3 meses de ciclismo (220), entrenamiento de resistencia (219) y malabares (161), 6 semanas de ejercicio aeróbico (221) y entrenamiento de equilibrio (222), e incluso 1 semana de práctica en una tarea compleja de rotación visuomotora (161), 5 días de entrenamiento en la tarea de fuerza de pellizco (223) y 4 días de practicar la firma con la mano no dominante (161). Estos descubrimientos concuerdan con la evidencia de que una escala temporal de apenas unos

pocos días de entrenamiento es suficiente para inducir nuevas espinas sinápticas (161).

El volumen del ejercicio también emerge como un factor crucial. Se han documentado umbrales para que la AF muestre influencias positivas en el cerebro, con rangos que varían desde 6,5 horas o 5 a 6 horas diarias hasta 180 (224), 150 (221), 120 minutos por semana (225), y hasta 45 (226), 40 (212), 30 (227), e incluso 20 minutos diarios (224). Se han señalado algunos umbrales adicionales, como 40 minutos de ejercicio diario en lugar de 20 minutos (224), la realización de entrenamiento de resistencia al menos dos veces por semana (228), y caminar al menos 72 cuerdas (161). A pesar de las diversas duraciones y volúmenes de AF mencionados, se sostiene que la AF ejerce un efecto gradual y no de umbral en el cerebro (161). Además, se ha informado que cualquier gasto energético a través de una actividad conlleva beneficios para la salud (229), y se sugiere que la combinación de diferentes tipos de ejercicios puede ser aún más positivo que la práctica de un solo tipo (214–219). Por lo tanto, tanto las actividades de AF a corto plazo como las de alto volumen, así como las de largo plazo y las de bajo volumen, pueden tener beneficios para la salud (230), y no se considera obligatorio un protocolo de entrenamiento estricto y controlado para obtener tales beneficios (161).

Diabetes y ejercicio

Introducción

La diabetes mellitus (DM), comúnmente denominada simplemente como diabetes, constituye un trastorno metabólico de naturaleza compleja cuya característica clínica predominante es la hiperglucemia, es decir, niveles persistentemente elevados de glucosa en sangre (231). Esta condición resulta de alteraciones en la producción o en la acción de la insulina o de una combinación de ambas y se expresa de manera crónica a través de disfunciones en el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas. La DM se desarrolla siguiendo un curso progresivo, con una etiopatogenia multifactorial y una presentación clínica heterogénea (232).

La hiperglucemia sostenida y los trastornos metabólicos asociados comprometen diversos órganos y sistemas, alterando su función fisiológica (232). Estas disfunciones progresan debido al impacto negativo de la hiperglucemia crónica sobre la estructura y función de la micro y macrovasculatura, elementos esenciales para el funcionamiento integral del organismo (231-233). Las alteraciones vasculares conllevan al desarrollo de complicaciones tanto microvasculares como macrovasculares, manifestadas por daño orgánico, disfunción y, eventualmente, insuficiencia de órganos clave como los ojos, los riñones, el corazón y los nervios periféricos (232). La afectación ocular puede evolucionar hacia retinopatía y ceguera; la renal, hacia nefropatía y falla renal; y la cardiovascular, hacia hipertensión y cardiopatía isquémica (234). Asimismo, las complicaciones

neuropáticas incluyen formas autonómicas y periféricas. Las neuropatías autonómicas se manifiestan en sistemas como el cardiovascular, gastrointestinal y genitourinario (incluyendo la función sexual), mientras que las neuropatías periféricas prolongadas suelen asociarse con infecciones en los pies, úlceras crónicas, riesgo de amputaciones y articulación de Charcot (235). Además, la diabetes se relaciona con un aumento en la incidencia de enfermedad cerebrovascular, enfermedad arterial periférica y enfermedad coronaria, conformando en su conjunto la enfermedad cardiovascular aterosclerótica, una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en pacientes diabéticos (235).

Desde una perspectiva epidemiológica, la DM representa uno de los retos más significativos para la salud pública global. Su prevalencia ha aumentado de forma paralela al desarrollo económico y la urbanización acelerada, factores que han inducido cambios en los estilos de vida tradicionales (234). En 2019, se estimó que alrededor de 463 millones de adultos entre 20 y 79 años vivían con diabetes, lo que representaba el 9,3 % de la población adulta mundial. Para 2030, se proyecta que esta cifra ascenderá a 578 millones (10,2 %), y para 2045, a 700 millones (10,9 %) (236). Ese mismo año, la prevalencia fue de 9,6 % en hombres y 9,0 % en mujeres. Asimismo, se registraron aproximadamente 4,2 millones de muertes atribuibles directa o indirectamente a la diabetes, y los costos sanitarios relacionados superaron los 760 mil millones de dólares estadounidenses, lo que representó el 10 % del gasto global en salud de adultos. La diabetes gestacional, por su parte, afectó a más de 20 millones de nacimientos vivos, es decir, uno de cada seis partos (237).

Clasificación y fisiopatología

Dada la complejidad patogénica y la variabilidad clínica de la diabetes mellitus (DM), cualquier intento de clasificarla resulta, en cierto modo, arbitrario; sin embargo, establecer categorías

es útil tanto para la evaluación clínica como para la toma de decisiones terapéuticas (234). La clasificación actual considera criterios etiológicos y fisiopatológicos, permitiendo un abordaje integral de la enfermedad. Según esta perspectiva, la diabetes se agrupa en cuatro categorías principales: diabetes mellitus tipo 1 (DM1), diabetes mellitus tipo 2 (DM2), diabetes mellitus gestacional (DMG) y diabetes asociada a condiciones específicas o secundarias a enfermedades o trastornos particulares (Fig. 41) (234,238,239).



Figura 41. Cuatro tipos de diabetes
Fuente: Banday et al. (233)

Diabetes mellitus tipo 1 (DM1)

La DM1, también conocida como tipo 1A o, según clasificaciones anteriores, como diabetes insulino dependiente o de inicio juvenil, representa entre el 5 y el 10 % de todos los casos diagnosticados. Su origen es autoinmunitario, caracterizado por una destrucción mediada por células T de las células β pancreáticas, lo que conlleva una deficiencia absoluta de insulina y el consecuente estado de hiperglucemia (231,232,234). Aunque su etiopatogenia no se comprende por completo, se sabe que intervienen tanto factores genéticos

como ambientales. La velocidad de destrucción de las células β define la progresión clínica. En niños y adolescentes suele ser rápida, lo que puede derivar en cetoacidosis diabética (CAD); en adultos, puede presentarse de forma más lenta, incluso durante años, conservando cierta función residual de las células β . Sin embargo, en todos los casos la deficiencia de insulina progresa hasta volverse crítica, requiriéndose terapia sustitutiva para evitar descompensaciones metabólicas graves. Esta deficiencia suele reflejarse en niveles bajos o indetectables de péptido C plasmáticos (231-234,240).

La diabetes mellitus tipo 1 (DM1) constituye un trastorno de origen autoinmunitario, cuya característica distintiva es la presencia de múltiples marcadores inmunológicos, especialmente autoanticuerpos, que participan en la destrucción de las células β pancreáticas. Entre los principales autoanticuerpos implicados se encuentran los dirigidos contra la descarboxilasa del ácido glutámico (GADA) —notablemente el subtipo GAD65—; los autoanticuerpos contra los antígenos de las células de los islotes (ICA), como el ICA512; aquellos contra las tirosinas fosfatasas IA-2 e IA-2 α ; los autoanticuerpos antiinsulina (IAA); y los dirigidos contra la isoforma 8 del transportador de zinc específico de los islotes (ZnT8). La detección de al menos uno de estos autoanticuerpos permite apoyar el diagnóstico clínico de DM1, aunque en la práctica se observa la presencia simultánea de varios de ellos en una proporción significativa de pacientes. De hecho, se ha reportado que entre el 85 y el 90 % de los individuos con diabetes mellitus tipo 1 de reciente aparición presentan más de un marcador inmunitario (232,234). Entre todos, el autoanticuerpo GAD65 es el más prevalente, detectado en aproximadamente el 80 % de los pacientes al momento del diagnóstico. Le siguen los ICA, presentes en el 69-90 % de los casos, y el IA-2 α , identificado en entre el 54 y el 75 % de los individuos diagnosticados clínicamente con DM1(232).

Diabetes idiopática

La denominada diabetes tipo 1B o idiopática agrupa casos clínicamente similares a la DM1, pero sin evidencia de autoinmunidad (autoanticuerpos negativos) ni asociación con HLA. Es más frecuente en poblaciones asiáticas y afrocaribeñas y presenta un patrón de herencia más marcado. Su etiología permanece incierta. Estos pacientes pueden experimentar insulopenia grave y episodios de CAD, pero la necesidad de insulina puede fluctuar con el tiempo (232).

Diabetes mellitus tipo 2

La DM2 representa el 90–95 % de los casos de diabetes y se caracteriza por una combinación de resistencia a la insulina y disfunción progresiva de las células β pancreáticas (234). Inicialmente, el organismo compensa la resistencia incrementando la secreción de insulina, lo que da lugar a hiperinsulinemia. Con el tiempo, la secreción se vuelve insuficiente para mantener la normoglucemia, resultando en hiperglucemia. La DM2 suele tener un inicio insidioso, con una progresión lenta y sintomatología leve durante años. Su etiología es multifactorial, con fuerte influencia genética poligénica y factores ambientales como sedentarismo, obesidad, edad avanzada y antecedentes familiares. También se asocia con grupos étnicos específicos (afroamericanos, latinoamericanos, asiáticos, nativos americanos) y enfermedades comórbidas como hipertensión y dislipidemias (235,241,242).

La obesidad, especialmente la abdominal (obesidad visceral), desempeña un papel determinante en el desarrollo de resistencia a la insulina y, por tanto, de DM2. La acumulación de grasa en regiones viscerales se relaciona más estrechamente con hiperglucemia que la distribución periférica. Además, los pacientes con DM2 suelen presentar otros factores de riesgo cardiovascular como hipertensión, hipertrigliceridemia

y niveles bajos de HDL. Dada su naturaleza crónica y las alteraciones metabólicas subyacentes, la DM2 se asocia a largo plazo con múltiples complicaciones vasculares (Fig. 42) (232).

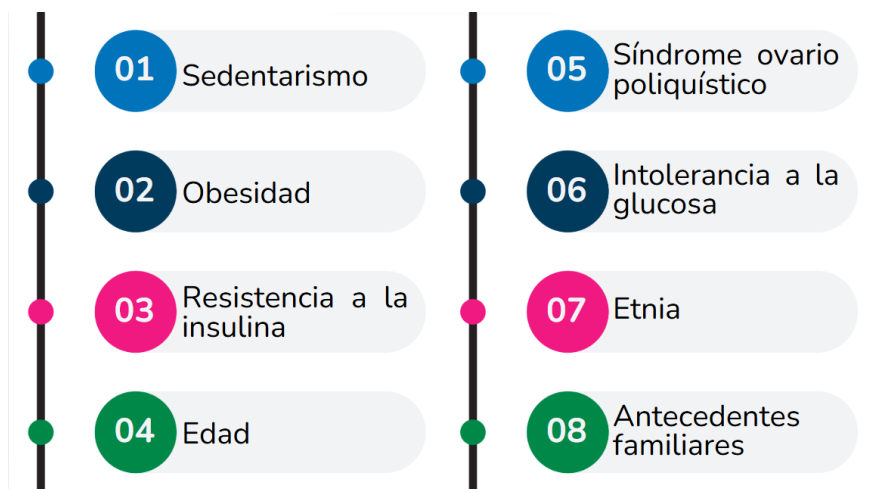


Figura 42. Algunos de los principales factores de la diabetes mellitus tipo 2.
Fuente: Banday et al. (233)

Actividad física sistemática

La actividad física regular es fundamental para el manejo de la diabetes (243–245). No obstante, en muchos países, los niveles de actividad física en los niños han disminuido con el tiempo, y menos del 10% de los jóvenes a nivel mundial cumplen con las actuales directrices de la OMS que establece que los niños y adolescentes deben realizar al menos una media de 60 minutos de actividad física diaria principalmente aeróbica de intensidad moderada a vigorosa a lo largo de la semana (245). Así mismo, deben incorporar actividades de intensidad moderada a vigorosa que fortalezcan los músculos y huesos al menos tres días a la semana (245). Además de la reducción de la actividad física, se ha observado un aumento en el índice de masa corporal (IMC) y una disminución en la capacidad para absorber, transportar, y consumir oxígeno por unidad de tiempo (indicador de la aptitud física) en jóvenes con diabetes

mellitus tipo 1 (DM1) y la diabetes mellitus tipo 2 (DM2), lo que incrementa el riesgo de enfermedad cardiovascular (245,246). Por lo tanto, estos hallazgos requieren una acción urgente, ya que los niveles de actividad física en la niñez suelen mantenerse hasta la edad adulta.

Hay muchos beneficios para la salud física y mental de la AF sistemática para jóvenes con DM1 y DM2 (Fig. 43), incluidos:



Figura 43. Beneficios para la salud física y mental de la AF sistemática para jóvenes con DM1 y DM2. Fuente: Elaboración propia.

A pesar de estos beneficios, muy pocas personas, con o sin diabetes, cumplen con las recomendaciones de actividad física (243–245,247). Los niños menores de 7 años con diabetes tipo 1 realizan menos actividad física diaria que sus pares sin diabetes tipo 1 (245). Muchos adolescentes con DM1, y especialmente aquellos con DM2, tienen altas tasas de comportamiento sedentario y practican menos actividad física moderada a vigorosa que los jóvenes sin diabetes (248). En general, los niños y adolescentes con diabetes tienden a ser menos activos físicamente que sus compañeros (245). En la población

general, las razones son multifactoriales: falta de tiempo, baja motivación, acceso limitado a instalaciones o discapacidades (244,245,249). Las barreras para los jóvenes con diabetes son similares, pero también existen obstáculos específicos relacionados con la enfermedad que deben ser abordados. Estos incluyen hipoglucemia recurrente y el miedo a la hipoglucemia, niveles elevados de HbA1c y/o alta variabilidad glucémica, problemas de imagen corporal, la planificación requerida, vacilación de los padres, determinantes sociales de la salud y una falta general de conocimiento sobre el ejercicio y la diabetes (245) .

Incorporar el ejercicio regular y la actividad física en la vida de los niños y adolescentes con diabetes es un desafío, ya que no existe un enfoque único que sirva para todos (245). Los profesionales de la salud deben sentirse seguros al motivar y asesorar a los niños y adolescentes con diabetes, así como a sus cuidadores, para que adopten y mantengan nuevos comportamientos. Es esencial que estos profesionales cuenten con los recursos necesarios y capaciten a los jóvenes para incorporar la actividad física y el ejercicio en su vida diaria y sus planes de autocuidado.

Prescripción clínica del ejercicio

El enfoque estructurado para la prescripción clínica del ejercicio en jóvenes con diabetes implica un proceso lógico y secuencial (250). Inicialmente, se comienza con una exploración de los objetivos de actividad física personalizada y una discusión sobre la fisiología del ejercicio y las variaciones glucémicas esperadas (245,250). Luego, se desarrolla un marco sistemático que incluye el control de la glucosa, la estrategia de dosificación de insulina y el plan de alimentación, asegurando la seguridad y previniendo la hipoglucemia en jóvenes con DM1 (245). Para niños y adolescentes con DM2, identificar las barreras y la etapa de cambio para aumentar la actividad física regular

puede ayudar a crear planes individualizados para el cambio de comportamiento (250). Aquellos que requieren insulina deben discutir cómo incorporar el ejercicio de manera segura en sus estrategias de dosificación (245,250). Posteriormente, estos planes pueden ajustarse para considerar tanto el ejercicio planificado como el no planificado, siendo este último asociado con una menor flexibilidad para ajustar la dosis de insulina antes del ejercicio, lo que resalta la importancia de la ingesta nutricional y la monitorización cuidadosa de la glucosa (245). Dado que muchos niños con diabetes son sedentarios, es necesaria una planificación cuidadosa para comenzar de manera segura y mantener un estilo de vida activo.

Cualquier discusión clínica debe iniciar con un enfoque centrado en la persona, considerando los objetivos y la motivación para hacer ejercicio; los médicos pueden orientar esta conversación explorando factores específicos de cada individuo. Estos factores pueden incluir el deseo de mejorar la condición física, optimizar la composición corporal, participar en actividades sociales como deportes de equipo o actividades con amigos, mejorar la gestión de la glucemia, alcanzar un rendimiento de alto nivel o de élite en deportes específicos, y/o disfrutar del ejercicio en general.

El tipo y la duración del ejercicio influirán en las oscilaciones glucémicas agudas en niños y adolescentes con DM (251). Las caídas predecibles en los niveles de glucosa en sangre deben incorporarse en un plan que considere la actividad física en general, incluyendo reducciones proporcionales en la dosis de insulina antes del ejercicio y la exposición a la insulina basal, junto con una estrategia de alimentación adecuada (233,251). El riesgo de hipoglucemia también aumenta con la duración del ejercicio. Incluso a baja intensidad, el ejercicio prolongado requerirá inevitablemente ajustes en la insulina y en la alimentación, que pueden ser aditivos y progresivos a medida que se prolonga la actividad (240,245). Por el contrario,

la hiperglucemia aguda puede observarse con ejercicios de muy alta intensidad, especialmente en ayunas (245). Sin embargo, la respuesta glucémica a la insulina en bolo y a los carbohidratos ingeridos es mucho menos predecible. Es fundamental educar a las personas con diabetes para que puedan anticiparse a estas variaciones (252). Esta hiperglucemia aguda puede manejarse con dosis de corrección conservadoras o mediante componentes de actividad aeróbica de baja intensidad que aumenten la eliminación de glucosa sin incrementar la tasa de aparición de glucosa, o con procesos de recuperación activa que reduzcan los niveles séricos de lactato y catecolaminas (252,253). Estas variaciones agudas de los niveles de glucosa en sangre son menos probables en adolescentes con DM2.

En los jóvenes con DM1, y en algunos con DM2, la actividad física o el ejercicio suelen realizarse con insulina activa residual de una dosis reciente (“insulina a bordo”) (245). Ejemplos de esto incluyen deportes escolares, juegos durante el almuerzo, prácticas de equipo después de la escuela o juegos espontáneos. Por lo tanto, es esencial discutir con los jóvenes y sus padres el tiempo de acción de la insulina y cómo esto influye en las respuestas glucémicas al ejercicio (245).

Cuando se planea realizar ejercicio dentro de las 2 a 3 horas posteriores a una comida, se debe considerar un ajuste adecuado de la dosis correspondiente de insulina previa al ejercicio (245). Sin embargo, estas dependerán de si se prevé que la actividad cause una caída en los niveles de glucosa en sangre y de la duración planificada del ejercicio, si se conoce (245). Las reducciones agresivas de la insulina prandial más de 90 minutos antes del ejercicio pueden reducir el riesgo de hipoglucemia durante o inmediatamente después del ejercicio, pero también pueden estar asociadas con hiperglucemia antes de que comience el ejercicio. Por lo tanto, estos posibles resultados deben equilibrarse y priorizarse de acuerdo con

los objetivos personalizados establecidos y acordados con la persona con diabetes.

Fisiología clínica del ejercicio

El ejercicio es una forma estructurada de AF que puede clasificarse como predominantemente oxidativa o glucolítica, según las rutas metabólicas (254). En las actividades aeróbicas, como caminar, trotar y andar en bicicleta a intensidad ligera o moderada, la frecuencia cardíaca y el consumo de oxígeno aumentan respecto al estado de reposo, mientras que los lípidos (ácidos grasos libres y triglicéridos musculares) y los carbohidratos (glucosa en sangre y glucógeno muscular) se oxidan (254). En las actividades breves, como las carreras de velocidad de 400 metros, entrenamiento en circuito de alta intensidad, sprint, salto vertical y el levantamiento de pesas, el músculo esquelético genera energía a partir de la ruta glucolítica y de los fosfágenos (254). La mayoría de las formas de ejercicio, deporte, juego y actividad física diaria combinan el metabolismo oxidativo y glucolítico. Comprender la fisiología clínica del ejercicio es valioso para los profesionales de la salud, ya que les permite brindar asesoramiento individualizado a las personas que viven con diabetes, dada la complejidad del ejercicio y la diabetes. El ejercicio oxidativo tiende a disminuir los niveles de glucosa circulante, mientras que las formas glucolíticas o mixtas de ejercicio generalmente se asocian con una caída atenuada o un aumento de la glucemia (254).

Síndrome de Down y ejercicio

El síndrome de Down (SD) es una condición en la que los bebés nacen con un cromosoma adicional (el número 21) (255). Este cromosoma extra se relaciona con retrasos en el desarrollo tanto intelectual como motor del niño y con un mayor riesgo de problemas de salud (255). Los niños con SD entre 6 y 12 años, así como los adolescentes entre 13 y 18 años, muestran un desarrollo motriz más pausado en comparación con los niños con desarrollo normal Rodríguez-Grande et al., (258). El SD conlleva alteraciones en el equilibrio, la fuerza y la resistencia muscular, lo que afecta el control postural y provoca un desarrollo motor inusual, además de una discapacidad cognitiva (256, 257).

En términos generales, los niños con síndrome de Down siguen el patrón típico del desarrollo motor, aunque alcanzan habilidades fundamentales como caminar, correr, saltar, trepar, lanzar y atrapar en etapas más avanzadas de su infancia (258). La hipotonía y la debilidad muscular interfieren con la coordinación intramuscular y el procesamiento de la información propioceptiva, lo que afecta negativamente su control postural, funcionalidad y calidad de vida (257). Por ejemplo, las dificultades en el control postural en esta población pueden limitar su capacidad para realizar actividades cotidianas y afectar otros aspectos de su desempeño funcional (259).

Estas características limitan la independencia en la movilidad, lo que aumenta la necesidad de supervisión y apoyo por parte de los padres, docentes y cuidadores (255,257). Esta situación

se vuelve más evidente en la adolescencia debido a las nuevas relaciones que se establecen con amigos y el entorno escolar en el que el niño interactúa (257,260). Para fomentar la movilidad y la independencia en las actividades de la vida diaria, los niños y adolescentes con SD pueden participar en intervenciones planificadas y sistemáticas que ayuden al desarrollo de habilidades motoras y mejoren el rendimiento funcional a través de la prescripción clínica del ejercicio (261). La prescripción clínica del ejercicio implica la aplicación de parámetros fisiológicos como la intensidad, frecuencia, densidad, volumen y duración del ejercicio físico con fines terapéuticos (261). La prescripción clínica del ejercicio incluye ejercicios con un componente metabólico oxidativo, glucolítico, motor y neuromuscular (257,261).

Las modalidades de ejercicio neuromuscular y motor pueden compartir características, pero su aplicación varía según el contexto; algunos enfoques son terapéuticos, mientras que otros están dirigidos a optimizar el rendimiento deportivo (257). El ejercicio neuromuscular se centra en mejorar el control sensoriomotor, es decir, la capacidad de generar movimientos controlados mediante la coordinación muscular, y en facilitar el control neuromuscular (257). Este tipo de ejercicio tiene como finalidad mejorar la respuesta automática de los músculos a estímulos que influyen en la estabilidad articular dinámica, que permite que la articulación se mantenga estable durante el movimiento (257). Para lograr estos resultados, el ejercicio neuromuscular busca optimizar factores como la fuerza muscular, la flexibilidad y el equilibrio (262,263).

El ejercicio neuromuscular activa procesos neurofisiológicos de coordinación intermuscular que, junto con el aumento de la fuerza muscular y las respuestas posturales, contribuyen a la estabilidad en la ejecución de patrones motores dentro del repertorio funcional de niños y adolescentes con SD (257,262,263). Hay diversas formas de realizar ejercicio

neuromuscular, incluyendo el uso de superficies inestables como pelotas o colchonetas, equipos de mecanoterapia, técnicas isocinéticas y ejercicios de resistencia con peso corporal (257).

Sobrepeso, obesidad y ejercicio

Introducción

La obesidad infantil continúa representando un desafío para la salud pública a nivel mundial. Según estimaciones de la OMS, en el año 2020 más de 41 millones de niños menores de cinco años presentaban sobrepeso u obesidad (264). Si bien en numerosos países de ingresos altos la prevalencia de obesidad en la infancia y adolescencia se ha estabilizado, dicha estabilización se ha producido en niveles elevados y, salvo excepciones puntuales, no ha habido una disminución efectiva (265,266). Por el contrario, las tasas de obesidad han mostrado una tendencia ascendente en países de ingresos bajos y medianos (264,265). Las diferencias entre países respecto a estas tendencias son notables (267), con un incremento particularmente acelerado en regiones como Asia oriental y meridional, África septentrional y meridional, América Latina y los Estados Unidos (264,268). Además, investigaciones realizadas en algunos países han evidenciado que la estabilización en la prevalencia de sobrepeso y obesidad desde inicios del milenio ha ocurrido predominantemente entre niños de familias con mayor nivel socioeconómico, mientras que en aquellos provenientes de contextos socioeconómicos más bajos la prevalencia continúa en ascenso (264).

El sobrepeso y la obesidad desarrollados durante la infancia y la adolescencia tienden a persistir en la adultez, siendo el riesgo de continuidad mayor en niños con obesidad que en

aquellos con sobrepeso (264). Por consiguiente, la prevención temprana del sobrepeso, especialmente durante la primera infancia, constituye un factor clave para lograr trayectorias de crecimiento saludables que se extiendan hasta la vida adulta. La elevada tasa de mantenimiento del exceso de peso en la adultez, sumada a la limitada eficacia y sostenibilidad a largo plazo de los tratamientos disponibles (como las intervenciones sobre el estilo de vida (264,269), la farmacoterapia (270), el abordaje psicológico (271) o procedimientos invasivos como la cirugía bariátrica (272) subraya la urgencia de implementar estrategias preventivas desde las etapas más tempranas del desarrollo (264). Asimismo, los niños con sobrepeso u obesidad enfrentan un mayor riesgo de desarrollar comorbilidades psicosociales y psicológicas, tales como sentimientos de soledad, depresión, ansiedad y baja autoestima (273).

Por otra parte, se ha documentado una asociación clara entre el grado de obesidad infantil y la aparición de alteraciones metabólicas como intolerancia a la glucosa, hipertensión arterial y dislipidemia ya durante la adolescencia (264). Si esta condición persiste en la juventud y se extiende hacia la adultez, el riesgo de padecer enfermedades crónicas asociadas con la obesidad (incluyendo diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer relacionados con el exceso de peso) (264), se incrementa significativamente, así como también la mortalidad prematura (274). A ello se suma el impacto negativo en la vida laboral, evidenciado en fenómenos como penalizaciones salariales, dificultades para la inserción o permanencia en el mercado laboral y jubilación anticipada (275).

Por tanto, prevenir el sobrepeso infantil no solo contribuye a reducir el riesgo de enfermedades complejas y muerte prematura, sino que también representa una estrategia fundamental para combatir las desigualdades sociales desde una perspectiva intergeneracional.

Dinámica del sobrepeso y la obesidad

Aunque se ha avanzado notablemente en la identificación de factores de riesgo asociados estadísticamente con la aparición de la obesidad, persiste una escasez de estudios que expliquen de manera causal la transición de un estado de peso saludable al sobrepeso y la obesidad. La mayoría de las evidencias actuales se basan en investigaciones de tipo observacional, cuyas limitaciones metodológicas dificultan establecer relaciones causales sólidas y diseñar estrategias de intervención eficaces. Además de la predisposición genética (264), desde las etapas perinatales ya se identifican factores potencialmente modificables que influyen en el riesgo de obesidad, como el exceso de peso en los progenitores (más allá de la herencia genética) (264), bajo nivel educativo parental, ganancia de peso excesiva y consumo de tabaco durante la gestación (276), así como la presencia de diabetes gestacional (264). En el primer año de vida, algunos estudios han reportado que una lactancia materna más prolongada podría reducir el riesgo de obesidad en etapas posteriores (277), aunque un ensayo aleatorizado por conglomerados no corroboró estos hallazgos (278). Asimismo, se ha observado que iniciar la alimentación complementaria antes de los cuatro meses, mantener una baja ingesta de grasas, o introducir bebidas azucaradas en los primeros dos años de vida (279–281), se relaciona con un mayor riesgo de sobrepeso.

Un ensayo multinacional que comparó fórmulas infantiles con alto y bajo contenido proteico mostró que el consumo elevado de proteínas se asocia con un IMC más alto y un mayor riesgo de obesidad a los seis años (264). El estilo de alimentación parental y la forma en que los cuidadores interactúan con los niños durante las comidas y en la crianza en general, también influyen en el riesgo futuro de obesidad.

Por otra parte, una mayor duración del sueño parece favorecer una composición corporal más saludable y un crecimiento

Aún persiste un mito ampliamente arraigado que condiciona los enfoques preventivos y terapéuticos del sobrepeso: la creencia simplista de que basta con que las personas “se controlen, dejen de comer y hagan ejercicio”. Esta perspectiva reduce en exceso la complejidad de los procesos que conducen al sobrepeso en niños y adolescentes, y minimiza los desafíos reales de su prevención.

Aunque muchos factores de riesgo identificados son, en teoría, modificables, ello no garantiza que su modificación prevenga efectivamente la aparición del sobrepeso o la obesidad. Por tanto, no debe depositarse la responsabilidad del fracaso preventivo en los individuos. Además, persisten múltiples incertidumbres: existen factores de riesgo aún no descubiertos, posibles efectos desconocidos de los ya conocidos, así como interacciones complejas entre ellos que todavía no se comprenden del todo. Incluso cuando un factor de riesgo muestra una asociación estadística con el desarrollo del sobrepeso, resulta difícil establecer con certeza que dicha relación sea causal. Por consiguiente, diseñar intervenciones dirigidas a factores solamente asociados estadísticamente puede no generar el efecto esperado y, en cambio, acarrear consecuencias negativas, costos innecesarios o escasa efectividad. Esto se evidenció en una revisión sistemática Cochrane que analizó más de 150 ensayos clínicos aleatorizados en población infantil, concluyendo que ni las intervenciones dietéticas ni las centradas únicamente en la actividad física lograron reducir el riesgo de sobrepeso u obesidad.

El manejo del peso en niños y adolescentes exige, por tanto, ir más allá del paradigma del equilibrio energético y considerar un enfoque integral que contemple la interacción compleja y aún poco comprendida de múltiples determinantes biológicos, conductuales, sociales y ambientales.

Prevención del sobrepeso y la obesidad: Un enfoque por niveles

La prevención del sobrepeso y la obesidad en la población pediátrica puede estructurarse en tres niveles: primaria, secundaria y terciaria (Fig. 45). La prevención primaria está dirigida al 65–80% de los niños a partir de los 2 años y adolescentes que presentan un peso dentro del rango saludable. Su objetivo es mantener esta condición a lo largo del tiempo, lo que implica conservar un IMC entre los percentiles 5 y 85, correspondiente a un IMC de 18,5 a 25 kg/m² en adultos. Es importante diferenciar este enfoque de la promoción de la salud, cuyo propósito es más amplio y se orienta a establecer entornos que favorezcan el bienestar general. Por su parte, la prevención secundaria se enfoca en el 15–25% de niños y adolescentes que ya presentan sobrepeso. En este caso, las intervenciones deben centrarse en evitar un aumento adicional de peso (permitiendo que el crecimiento natural facilite el retorno al peso saludable) o en inducir una reducción del IMC que permita salir del estado de sobrepeso. Finalmente, la prevención terciaria tiene como meta evitar que la obesidad progrese hacia formas más graves (IMC > percentil 95, equivalente a un IMC adulto > 30 kg/m²), prevenir la recuperación del peso tras una pérdida inicial y reducir el riesgo de aparición de enfermedades asociadas en el 3–10% de niños y adolescentes que ya viven con obesidad.

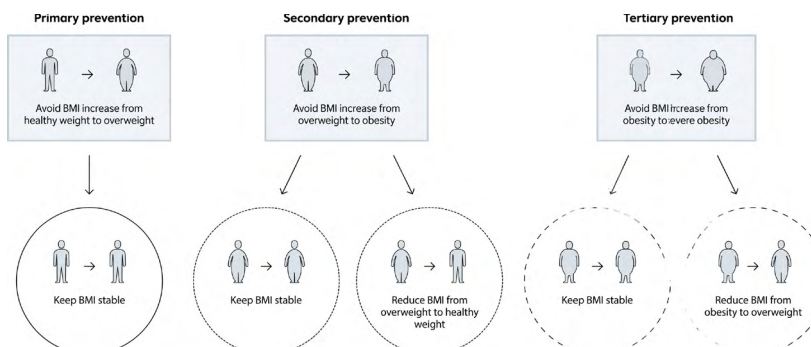


Figura 45. Prevención primaria, secundaria y terciaria del sobrepeso y la obesidad. Objetivos y metas de intervención para la prevención primaria, secundaria y terciaria del sobrepeso y la obesidad. Cuadrados: objetivos de la prevención primaria, secundaria y terciaria del sobrepeso y la obesidad. Círculos: objetivos de la prevención. Fuente: Taulaniemi et al., (264)

Diseño de intervenciones para la prevención del sobrepeso y la obesidad a lo largo de la vida

A lo largo del ciclo de vida pediátrico, desde el embarazo hasta la adolescencia, se han desarrollado e implementado diversas estrategias para prevenir el sobrepeso y la obesidad. Dentro del marco de la prevención primaria, el embarazo se considera un periodo clave para intervenir en favor de un desarrollo saludable del peso en la descendencia. Sin embargo, la mayoría de los ensayos realizados durante esta etapa se han centrado en controlar el aumento de peso gestacional o prevenir la diabetes mellitus gestacional mediante cambios en la dieta y promoción de actividad física en mujeres embarazadas. Solo unos pocos estudios han examinado el impacto de estas intervenciones sobre parámetros de peso en los hijos, como el peso al nacer, con resultados generalmente modestos.

Durante los dos primeros años de vida, las intervenciones se han enfocado en fomentar la lactancia materna, regular la calidad nutricional de los alimentos complementarios, fortalecer la interacción parental y estimular la actividad física. No obstante, pocas de estas estrategias han demostrado efectos significativos en la prevención del sobrepeso.

En la etapa preescolar, las intervenciones se han realizado mayoritariamente en centros educativos tempranos, escuelas y hogares, abordando factores como la alimentación y la actividad física. Algunas iniciativas también han considerado aspectos como la reducción del sedentarismo, el manejo del tiempo frente a pantallas, la calidad del sueño y el estrés familiar. A pesar de ello, menos de la mitad de estas intervenciones han demostrado eficacia, y la evidencia disponible sigue siendo limitada, como lo confirma una revisión Cochrane de 2023 en niños de entre 6 meses y 6 años.

Para niños en edad escolar, el entorno escolar ha sido el principal espacio de intervención, mientras que el ámbito familiar ha sido menos explorado. Las estrategias aplicadas han incluido la mejora del currículo de educación física, el fomento de la actividad diaria, el reemplazo de bebidas azucaradas por agua y la modificación de la oferta alimentaria escolar. Sin embargo, la mayoría de estas intervenciones no han logrado reducir el sobrepeso ni mejorar los indicadores asociados; en los pocos casos donde se observaron beneficios, estos fueron mínimos, como respalda una revisión Cochrane de 2022.

Finalmente, aunque en las últimas dos décadas han emergido enfoques participativos comunitarios y orientados a sistemas complejos para prevenir la obesidad infantil, la evidencia acumulada indica que su impacto sobre el sobrepeso y la obesidad ha sido en gran medida nulo.

Recomendaciones de actividad física apropiadas para la edad

La declaración realizada por Wyszynska et al., (290) identifica el papel de la actividad física en la prevención de peso corporal excesivo y brindar recomendaciones apropiadas para la edad de la actividad física y recomendaciones para intervenciones escolares, padres y tutores. En ese sentido, se presenta las recomendaciones específicas y adaptadas a cada grupo etario.

Bebés (menores de 1 año)

Se debe apoyar a los bebés (menores de 1 año) para que realicen actividad física varias veces al día mediante juegos interactivos supervisados en el suelo; cuanto más, mejor. Para los bebés que aún no se mueven, esto incluye al menos 30 minutos de tiempo boca abajo, distribuidos a lo largo del día mientras estén despiertos. Para cumplir con las recomendaciones de actividad física, los padres o tutores deben:

- Proporcionar un entorno de juego seguro y mínimamente estructurado y
- Involucrar a los bebés en la exploración no estructurada del entorno vivo y natural.

Niños pequeños (1 a 2 años)

Los niños pequeños (de 1 a 2 años) deben dedicar al menos 180 minutos de actividad física a cualquier intensidad, incluida la actividad física moderada a intensa (AFMV), distribuidos a lo largo del día. Una mayor actividad física diaria ofrece mayores beneficios.

Para lograr las recomendaciones de PA, los padres o tutores deben:

- Incluir una diversidad de actividades en diferentes entornos.
- Incluir actividades que desarrollen habilidades de movimiento.
- Proporcionar actividades seguras y enriquecedoras, tanto no estructuradas como mínimamente estructuradas.
- Fomentar la actividad física al aire libre y la exploración del entorno natural (las actividades apropiadas pueden incluir caminar por el vecindario, juego libre al aire libre no organizado, jugar con una pelota o algo similar).

Niños en edad preescolar (3 a 4 años)

Los niños en edad preescolar (3-4 años) deben dedicar al menos 180 minutos a diversos tipos de actividad física de cualquier intensidad, de los cuales al menos 60 minutos son de actividad física moderada a intensa (AFMV), distribuidos a lo largo del día. Una mayor actividad física diaria ofrece mayores beneficios.

Para lograr las recomendaciones de PA, los padres, tutores o maestros deben:

- Fomentar la participación en una diversidad de ap que respalden un desarrollo natural.
- Fomentar el juego libre, con énfasis en tareas motoras seguras, agradables y supervisadas que promuevan el juego y la experimentación.
- Proporcionar algún juego estructurado en un formato de mostrar y contar para mejorar un amplio espectro de habilidades motoras que aborden el equilibrio (es decir, dar vueltas, bailar y pararse en una pierna), la locomoción (es decir, caminar, correr, saltar, nadar y trepar) y la manipulación de objetos (es decir, atrapar, lanzar y patear).

Niños y adolescentes (5 a 18 años)

Los niños y adolescentes (de 5 a 18 años) deben acumular al menos 60 minutos diarios de actividad física moderada a intensa (AFMV) que incluya diversas actividades aeróbicas. Las cantidades de AF superiores a 60 minutos diarios proporcionan beneficios adicionales para la salud. Para cumplir con las recomendaciones de AF, los padres, tutores o profesores deben animar a los niños y adolescentes a...

- Identificar actividades que sean de su interés, ya que esto es crucial para una participación a largo plazo en la ap.
- Incorporar actividad física que promueva la salud musculoesquelética y cardiovascular al menos 3 días a la semana (las actividades apropiadas consisten en jugar, correr, nadar, bailar, saltar, dar saltos, lanzar, atrapar, etc.).
- Incorporar transporte activo y recreación, educación física o ejercicio planificado.
- Participar en deportes organizados para aprender una amplia gama de actividades deportivas, con énfasis en la competencia social. Por ejemplo, deportes como el fútbol americano proporcionan conocimientos sobre tácticas y reglas.

- Participar en entrenamiento con pesas supervisado para familiarizarse con la técnica y la carga adecuadas. El entrenamiento con pesas con series más largas y pesos más pesados puede implementarse a medida que el adolescente alcanza la madurez física (etapa 5 de Tanner).

Recomendaciones para intervenciones escolares

Los programas de educación física deben desarrollar actitudes positivas y habilidades motoras y conductuales.

Para lograr esta directriz dentro y fuera de la escuela,

- Aumentar la cantidad de educación física obligatoria.
- Fomentar la participación de todos los niños en las clases de educación física, independientemente de su discapacidad.
- Brindar educación sanitaria basada en los niveles de actividad física recomendados dentro del aula.
- Promover la actividad física durante los periodos de descanso y almuerzo.
- Aumentar el acceso a oportunidades de actividad física en la escuela además de la educación física.
- Aumentar el acceso a equipos que respalden la actividad física (por ejemplo, áreas de juegos al aire libre).
- Proporcionar equipos de juego portátiles en los patios de recreo.
- Aumentar el tiempo que los niños pasan al aire libre;
- Reducir y dividir el tiempo sedentario de los niños en la escuela.
- Promover el desarrollo de rutas activas y seguras a la escuela.
- Aumentar la disponibilidad de áreas de juego seguras y atractivas que estimulen la actividad física.

- Mejorar la colaboración entre las escuelas y las familias, el gobierno local, los líderes de recreación comunitaria y los profesionales de la salud.
- Brindar al personal capacitación sobre la prestación de actividades físicas.
- Brechas e implicaciones.

Referencias

1. García-Hermoso A, Alonso-Martínez AM, Ramírez-Vélez R, Pérez-Sousa MÁ, Ramírez-Campillo R, Izquierdo M. Association of Physical Education with Improvement of Health-Related Physical Fitness Outcomes and Fundamental Motor Skills among Youths: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 174, JAMA Pediatrics. American Medical Association; 2020.
2. Opstoel K, Chapelle L, Prins FJ, De Meester A, Haerens L, van Tartwijk J, et al. Personal and social development in physical education and sports: A review study. *Eur Phy Educ Rev.* 2020 Nov 1;26(4):797–813.
3. Pangrazi RP, Beighle A. Dynamic physical education for elementary school children. *Human Kinetics.* 2019; 741.
4. Martins J, Marques A, Rodrigues A, Sarmento H, Onofre M, Carreiro da Costa F. Exploring the perspectives of physically active and inactive adolescents: how does physical education influence their lifestyles? *Sport Educ Soc.* 2018.
5. Quennerstedt M. Healthy physical education - on the possibility of learning health. *Phys Educ Sport Pedagogy.* 2019 Jan 2;24(1):1–15.
6. Kyriakides E, Tsangaridou N, Charalambous C, Kyriakides L. Integrating generic and content-specific teaching practices in exploring teaching quality in primary physical education. *Eur Phy Educ Rev.* 2018 Nov 1;24(4):418–48.
7. Mavilidi MF, Drew R, Morgan PJ, Lubans DR, Schmidt M, Riley N. Effects of different types of classroom physical activity breaks on children's on-task behaviour, academic achievement and cognition. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics.* 2020 Jan 1;109(1):158–65.

8. Marini S, Gori D, Leoni E, Rochira A, Dallolio L. Evaluation of school-based interventions of active breaks in primary schools: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*. 2020 Apr 1;23(4):377–84.
9. Sprow K, Perna FM, Leider J, Turner L, Piekarz-Porter EM, Michael SL, et al. Standards-Based Physical Education in Schools: The Role of State Laws. *Transl J Am Coll Sports Med*. 2021;6(2).
10. Slater SJ, Nicholson L, Chriqui J, Turner L, Chaloupka F. The Impact of State Laws and District Policies on Physical Education and Recess Practices in a Nationally Representative Sample of US Public Elementary Schools. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2012 Apr; 166(4):311–6.
11. Clemes SA, Bingham DD, Pearson N, Chen YL, Edwardson CL, McEachan RRC, et al. Stand out in Class: Restructuring the classroom environment to reduce sitting time - Findings from a pilot cluster randomised controlled trial. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2020 Apr; 17(1):1–16.
12. José López Chicharro, Almudena Fernández Vaquero. *Fisiología del Ejercicio*. 2022.
13. Sousa A, Ribeiro J, Figueiredo P. Physiological Demands in Sports Practice. In: *The Sports Medicine Physician*. Springer International Publishing; 2019. p. 37–44.
14. Eisenmann by C, Howard R, Moreno T. Long-term athletic development as a framework to influence wellness during childhood and adolescence. 2020.
15. Farooq A, Martin A, Janssen | Xanne, Wilson MG, Gibson AM, Hughes A, et al. Longitudinal changes in moderate-to-vigorous-intensity physical activity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. 2019.
16. Higgs C, Way R, Vicki Harber M, Jurbala P, Balyi I, Carey A, et al. Long-term development in sport and physical activity 3.0. 2019.
17. Lloyd RS, Cronin JB, Faigenbaum AD, Haff GG, Howard R, Kraemer WJ, et al. National Strength and Conditioning

- Association Position Statement on Long-Term Athletic Development. *J Strength Cond Res* [Internet]. 2016 Jun; 30(6):1491-509.
18. Faigenbaum AD, Bruno LE. Wellness right from the start: Birth through early childhood. *ACSMs Health Fit J*. 2020 Sep; 24(5):18-23.
 19. Behan S, Belton S, Peers C, O'Connor NE, Issartel J. Moving Well-Being Well: Investigating the maturation of fundamental movement skill proficiency across sex in Irish children aged five to twelve. *J Sports Sci*. 2019; 37(22):2604-12.
 20. Hulteen RM, Morgan PJ, Barnett LM, Stodden DF, Lubans DR. Development of Foundational Movement Skills: A Conceptual Model for Physical Activity Across the Lifespan. *Sports Medicine*. 2018 Jul; 48(7):1533-40.
 21. Paruthi S, Brooks LJ, D'Ambrosio C, Hall WA, Kotagal S, Lloyd RM, et al. Recommended Amount of Sleep for Pediatric Populations: A Consensus Statement of the American Academy of Sleep Medicine. *Journal of Clinical Sleep Medicine*. 2016; 12(6):785-6.
 22. LeBourgeois MK, Hale L, Chang AM, Akacem LD, Montgomery-Downs HE, Buxton OM. Digital Media and Sleep in Childhood and Adolescence. *Pediatrics*. 2017 Nov; 140(Supplement_2):S92-6.
 23. Villa-González E, Barranco-Ruiz Y, García-Hermoso A, Faigenbaum AD. Efficacy of school-based interventions for improving muscular fitness outcomes in children: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Sport Science*. Taylor and Francis Ltd.; 2022.
 24. Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, Carlson SA, Fulton JE, Galuska DA, et al. The physical activity guidelines for Americans. *JAMA - Journal of the American Medical Association*. 2018 Nov 20; 320(19):2020-8.
 25. Falk B, Dotan R. Strength Training In Children. *Harefuah* [Internet]. 2019 Aug; 158(8):515-9.

26. Stricker PR, Faigenbaum AD, McCambridge TM. Resistance training for children and adolescents. *Pediatrics*. 2020 Jun 1;145(6).
27. Faigenbaum, MacDonald JP, Carvalho C, Rial Rebullido T. The pediatric inactivity triad: a triple jeopardy for modern day youth. 2020.
28. Asadi A, Ramirez-Campillo R, Arazi H, Sáez de Villarreal E. The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *J Sports Sci*. 2018;36(21):2405–11.
29. Moran J, Sandercock GRH, Ramírez-Campillo R, Meylan C, Collison J, Parry DA. A meta-analysis of maturation-related variation in adolescent boy athletes' adaptations to short-term resistance training. *J Sports Sci*. 2017;35(11):1041–51.
30. Schwarzfischer P, Gruszfeld D, Stolarczyk A, Ferre N, Escribano J, Rousseaux D, et al. Physical Activity and Sedentary Behavior From 6 to 11 Years. *Pediatrics*. 2019;143(1):20180994.
31. Janssen X, Mann KD, Basterfield L, Parkinson KN, Pearce MS, Reilly JK, et al. Development of sedentary behavior across childhood and adolescence: Longitudinal analysis of the Gateshead Millennium Study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2016 Aug 2;13(1).
32. Faigenbaum AD, Tamara; Rebullido R, Macdonald JP. Pediatric Inactivity Triad: A Risky PIT. 2018.
33. Faigenbaum AD, Best TM, MacDonald J, Myer GD, Stracciolini A. Top 10 research questions related to exercise deficit disorder (EDD) in youth. *Res Q Exerc Sport*. 2014;85(3):297–307.
34. Whitehead. *Physical Literacy: Throughout the lifecourse*. London: Routledge 2010.
35. Pesce C, Faigenbaum AD, Goudas M, Tomporowski P. Coupling our plough of thoughtful moving to the star of children's right to play. In: *Physical Activity and Educational Achievement*. Routledge; 2018. p. 247–74.

36. Collins H, Booth JN, Duncan A, Fawcner S. The effect of resistance training interventions on fundamental movement skills in youth: a meta-analysis. Vol. 5, Sports Medicine - Open. Springer; 2019
37. Bukowsky M, Faigenbaum AD, Myer GD. FUNdamental Integrative Training (FIT) for Physical Education. J Phys Educ Recreat Dance. 2014 Jul 24;85(6):23-30.
38. Faigenbaum AD, MacDonald JP, Stracciolini A, Rebullido TR. Making a Strong Case for Prioritizing Muscular Fitness in Youth Physical Activity Guidelines. Curr Sports Med Rep. 2020 Dec; 19(12):530-6.
39. Faigenbaum AD, MacDonald JP. Dynapenia: it's not just for grown-ups anymore. Vol. 106, Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics. Blackwell Publishing Ltd; 2017. p. 696-7.
40. Faigenbaum AD, McFarland JE. Developing Resistance Training Skill Literacy in Youth. J Phys Educ Recreat Dance. 2023;94(2):5-10.
41. Myer GD, Faigenbaum AD, Ford KR, Best TM, Bergeron MF, Hewett TE. When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? Vol. 10, Current Sports Medicine Reports. 2011. p. 157-66.
42. Faigenbaum, McFarland JE. Guidelines for Implementing a Dynamic Warm-up for Physical Education. J Phys Educ Recreat Dance. 2007 Mar;78(3):25-8.
43. Stodden DF, Langendorfer SJ, Goodway JD, Robertson MA, Rudisill ME, Garcia C, et al. A developmental perspective on the role of motor skill competence in physical activity: An emergent relationship. Quest. 2008 May 1;60(2):290-306.
44. Robinson LE, Stodden DF, Barnett LM, Lopes VP, Logan SW, Rodrigues LP, et al. Motor Competence and its Effect on Positive Developmental Trajectories of Health. Vol. 45, Sports Medicine. Springer International Publishing; 2015. p. 1273-84.

45. Lubans DR, Morgan PJ, Cliff DP, Barnett LM, Okely AD. Fundamental Movement Skills in Children and Adolescents Review of Associated Health Benefits. 2012.
46. Barnett LM, van Beurden E, Morgan PJ, Brooks LO, Beard JR. Childhood Motor Skill Proficiency as a Predictor of Adolescent Physical Activity. *Journal of Adolescent Health*. 2009 Mar;44(3):252-9.
47. Logan SW, Kipling Webster E, Getchell N, Pfeiffer KA, Robinson LE. Relationship Between Fundamental Motor Skill Competence and Physical Activity During Childhood and Adolescence: A Systematic Review. *Kinesiology Review*. 2015 Nov 10;4(4):416-26.
48. Barnett LM, Van Beurden E, Morgan PJ, Brooks LO, Beard JR. Does childhood motor skill proficiency predict adolescent fitness? *Med Sci Sports Exerc*. 2008 Dec;40(12):2137-44.
49. Cattuzzo MT, dos Santos Henrique R, Ré AHN, de Oliveira IS, Melo BM, de Sousa Moura M, et al. Motor competence and health related physical fitness in youth: A systematic review. Vol. 19, *Journal of Science and Medicine in Sport*. Elsevier Ltd; 2016. p. 123-9.
50. D'Hondt E, Deforche B, Gentier I, De Bourdeaudhuij I, Vaeyens R, Philippaerts R, et al. A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers. *Int J Obes*. 2013 Jan;37(1):61-7.
51. D'Hondt E, Deforche B, Gentier I, Verstuyf J, Vaeyens R, De Bourdeaudhuij I, et al. A longitudinal study of gross motor coordination and weight status in children. *Obesity*. 2014;22(6):1505-11.
52. Hulteen RM, Morgan PJ, Barnett LM, Stodden DF, Lubans DR. Development of Foundational Movement Skills: A Conceptual Model for Physical Activity Across the Lifespan. *Sports Medicine*. 2018 Jul 1;48(7):1533-40.
53. Barnett LM, Stodden D, Cohen KE, Smith JJ, Lubans DR, Lenoir M, et al. Fundamental movement skills:

- An important focus. *Journal of Teaching in Physical Education*. 2016 Jul 1;35(3):219-25.
54. Smith JJ, Diallo TMO, Bennie JA, Tomkinson GR, Lubans DR. Factors associated with adherence to the muscle-strengthening activity guideline among adolescents. *Psychol Sport Exerc*. 2020 Nov 1;51.
 55. Pichardo AW, Oliver JL, Harrison CB, Maulder PS, Lloyd RS, Kandoi R. Effects of Combined Resistance Training and Weightlifting on Injury Risk Factors and Resistance Training Skill of Adolescent Males. *J Strength Cond Res*. 2021 Dec 1;35(12):3370-7.
 56. WHO. WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. WHO. World Health Organization, 2020.
 57. Stricker PR, Faigenbaum AD, McCambridge TM. Resistance training for children and adolescents. *Pediatrics*. 2020;145(6).
 58. Faigenbaum AD, MJP, CC, & RTR (2020). The Pediatric Inactivity Triad: A Triple Jeopardy for Modern Day Youth. *ACSMs Health Fit J*. 2020;24(4):10-7.
 59. Asadi A, Ramirez-Campillo R, Arazi H, Sáez de Villarreal E. The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *J Sports Sci*. 2018; 36(21):2405-11.
 60. Moran JJ, Sandercock GRH, Ramírez-Campillo R, Meylan CMP, Collison JA, Parry DA. Age-related variation in male youth athletes' countermovement jump after plyometric training: A meta-analysis of controlled trials. Vol. 31, *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017. p. 552-65.
 61. Villa-González E, Barranco-Ruiz Y, García-Hermoso A, Faigenbaum AD. Efficacy of school-based interventions for improving muscular fitness outcomes in children: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Sport Sci*. 2023 Mar; 23(3):444-59
 62. Hjorth MF, Chaput JP, Damsgaard CT, Dalskov SM, Andersen R, Astrup A, et al. Low physical activity level

- and short sleep duration are associated with an increased cardio-metabolic risk profile: A longitudinal study in 8–11-year-old Danish children. *PLoS One*. 2014 Aug 7;9(8).
63. Fraser BJ, Blizzard L, Buscot MJ, Schmidt MD, Dwyer T, Venn AJ, et al. Muscular strength across the life course: The tracking and trajectory patterns of muscular strength between childhood and mid-adulthood in an Australian cohort. *J Sci Med Sport*. 2021 Jul 1;24(7):696–701.
 64. García-Hermoso A, Ramírez-Campillo R, Izquierdo M. Is Muscular Fitness Associated with Future Health Benefits in Children and Adolescents? A Systematic Review and Meta-Analysis of Longitudinal Studies. *Sports Medicine*. 2019 Jul; 49(7):1079–94.
 65. Faigenbaum AD, Rebullido TR, Peña J, Chulvi-Medrano I. Resistance Exercise for the Prevention and Treatment of Pediatric Dynapenia. *Journal of Science in Sport and Exercise*. 2019 Nov; 1(3):208–16.
 66. Sandercock GRH, Cohen DD. Temporal trends in muscular fitness of English 10-year-olds 1998–2014: An allometric approach. *J Sci Med Sport*. 2019 Feb 1;22(2):201–5.
 67. Tomkinson GR, Kaster T, Dooley FL, Fitzgerald JS, Annandale M, Ferrar K, et al. Temporal Trends in the Standing Broad Jump Performance of 10,940,801 Children and Adolescents Between 1960 and 2017. *Sports Medicine*. 2021 Mar; 51(3):531–48.
 68. Đurić S, Sember V, Starc G, Sorić M, Kovač M, Jurak G. Secular trends in muscular fitness from 1983 to 2014 among Slovenian children and adolescents. *Scand J Med Sci Sports*. 2021 Sep; 31(9):1853–61.
 69. Chulvi-Medrano I, Pombo M, Saavedra-García MÁ, Rebullido TR, Faigenbaum AD. A 47-Year Comparison of Lower Body Muscular Power in Spanish Boys: A Short Report. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology* 2020, Vol 5, Page 64. 2020 Aug; 5(3):64.
 70. Albon HM, Hamlin MJ, Ross JJ. Secular trends and distributional changes in health and fitness performance

- variables of 10–14-year-old children in New Zealand between 1991 and 2003. *Br J Sports Med.* 2010 Mar; 44(4):263–9.
71. Lloyd RS, Cronin JB, Faigenbaum AD, Haff GG, Howard R, Kraemer WJ, et al. National Strength and Conditioning Association Position Statement on Long-Term Athletic Development. *J Strength Cond Res.* 2016 Jun; 30(6):1491–509.
 72. Faigenbaum AD, MacDonald JP, Straccolini A, Rebullido TR. Making a Strong Case for Prioritizing Muscular Fitness in Youth Physical Activity Guidelines. *Curr Sports Med Rep.* 2020 Dec; 19(12):530–6.
 73. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br J Sports Med.* 2020 Dec; 54(24):1451–62.
 74. García-Hermoso A, Cavero-Redondo I, Ramírez-Vélez R, Ruiz JR, Ortega FB, Lee DC, et al. Muscular Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in an Apparently Healthy Population: A Systematic Review and Meta-Analysis of Data From Approximately 2 Million Men and Women. *Arch Phys Med Rehabil.* 2018 Oct 1;99(10):2100–2113.e5.
 75. Villa-González E, Faigenbaum AD. Resistance Training for Children and Adolescents. *Lecture Notes in Bioengineering.* 2022; 321–42.
 76. Lloyd RS, Faigenbaum AD, Stone MH, Oliver JL, Jeffreys I, Moody JA, et al. Position statement on youth resistance training: The 2014 International Consensus. *Br J Sports Med.* 2014;48(7):498–505.
 77. Fraser BJ, Huynh QL, Schmidt MD, Dwyer T, Venn AJ, Magnussen CG. Childhood Muscular Fitness Phenotypes and Adult Metabolic Syndrome. *Med Sci Sports Exerc.* 2016 Sep 1;48(9):1715–22.
 78. Pesta DH, Goncalves RLS, Madiraju AK, Strasser B, Sparks LM. Resistance training to improve type 2 diabetes:

- Working toward a prescription for the future. *Nutr Metab (Lond)*. 2017 Mar;14(1):1-10.
79. Smith JJ, Eather N, Weaver RG, Riley N, Beets MW, Lubans DR. Behavioral Correlates of Muscular Fitness in Children and Adolescents: A Systematic Review. *Sports Medicine* 2019 49:6. 2019 Mar; 49(6):887-904.
 80. Logan SW, Webster EK, Getchell N, Pfeiffer KA, Robinson LE. Relationship Between Fundamental Motor Skill Competence and Physical Activity During Childhood and Adolescence: A Systematic Review. *Kinesiology Review*. 2015 Nov; 4(4):416-26.
 81. Holfelder B, Schott N. Relationship of fundamental movement skills and physical activity in children and adolescents: A systematic review. *Psychol Sport Exerc*. 2014 Jul 1;15(4):382-91.
 82. Robinson LE, Stodden DF, Barnett LM, Lopes VP, Logan SW, Rodrigues LP, et al. Motor Competence and its Effect on Positive Developmental Trajectories of Health. *Sports Medicine*. 2015 Sep; 45(9):1273-84.
 83. Smith JJ, Eather N, Morgan PJ, Plotnikoff RC, Faigenbaum AD, Lubans DR. The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2014 May; 44(9):1209-23.
 84. Smith JJ, DeMarco M, Kennedy SG, Kelson M, Barnett LM, Faigenbaum AD, et al. Prevalence and correlates of resistance training skill competence in adolescents. *J Sports Sci*. 2018 Jun; 36(11):1241-9.
 85. Cadenas-Sanchez C, Mena-Molina A, Torres-Lopez L V, Migueles JH, Rodriguez-Ayllon M, Lubans DR, et al. Healthier Minds in Fitter Bodies: A Systematic Review and Meta-Analysis of the Association between Physical Fitness and Mental Health in Youth. *Sports Medicine*. 2021 Dec; 51(12):2571-605.
 86. Duckham RL, Rantalainen T, Ducher G, Hill B, Telford RD, Telford RM, et al. Effects of Habitual Physical Activity and Fitness on Tibial Cortical Bone Mass, Structure and Mass

- Distribution in Pre-pubertal Boys and Girls: The Look Study. *Calcif Tissue Int.* 2016 Jul; 99(1):56–65.
87. Zwolski C, Quatman-Yates C, Paterno M V. Resistance Training in Youth: Laying the Foundation for Injury Prevention and Physical Literacy. *Sports Health.* 2017 Sep; 9(5):436–43.
 88. Smith JJ, DeMarco M, Kennedy SG, Kelson M, Barnett LM, Faigenbaum AD, et al. Prevalence and correlates of resistance training skill competence in adolescents. *J Sports Sci.* 2018 Jun; 36(11):1241–9.
 89. Faigenbaum AD, Ratamess NA, Kang J, Bush JA, Rial Rebullido T. May the Force Be with Youth: Foundational Strength for Lifelong Development. *Curr Sports Med Rep.* 2023 Dec; 22(12):414–22.
 90. Collins H, Fawcner S, Booth JN, Duncan A. The effect of resistance training interventions on weight status in youth: a meta-analysis. Vol. 4, *Sports Medicine - Open.* Springer; 2018.
 91. García-Hermoso A, Ramírez-Vélez R, Ramírez-Campillo R, Peterson MD, Martínez-Vizcaíno V. Concurrent aerobic plus resistance exercise versus aerobic exercise alone to improve health outcomes in paediatric obesity: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* 2018 Feb; 52(3):161–6.
 92. Granacher U, Lesinski M, Büsch D, Muehlbauer T, Prieske O, Puta C, et al. Effects of resistance training in youth athletes on muscular fitness and athletic performance: A conceptual model for long-term athlete development. *Front Physiol.* 2016 May:194685.
 93. Behm DG, Young JD, Whitten JHD, Reid JC, Quigley PJ, Low J, et al. Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: A systematic review and meta-analysis. *Front Physiol.* 2017 Jun: 271408.
 94. Menezes GB, Alexandre DRO, Pinto JCBL, Assis TVL, Faigenbaum AD, Mortatti AL. Effects of Integrative

- Neuromuscular Training on Motor Performance in Prepubertal Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2022 Jun; 36(6):1667-74.
95. Hulteen RM, Morgan PJ, Barnett LM, Stodden DF, Lubans DR. Development of Foundational Movement Skills: A Conceptual Model for Physical Activity Across the Lifespan. *Sports Medicine.* 2018 Jul; 48(7):1533-40.
 96. Biddle SJH, Gorely T, Pearson N, Bull FC. An assessment of self-reported physical activity instruments in young people for population surveillance: Project ALPHA. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity.* 2011 Jan 2;8(1):1-9.
 97. Faigenbaum AD, McFarland JE. Resistance training for kids: Right from the Start. *ACSMs Health Fit J.* 2016 Sep; 20(5):16-22.
 98. Kennedy SG, Smith JJ, Estabrooks PA, Nathan N, Noetel M, Morgan PJ, et al. Evaluating the reach, effectiveness, adoption, implementation and maintenance of the Resistance Training for Teens program. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity.* 2021 Dec; 18(1):1-18.
 99. Robinson K, Riley N, Owen K, Drew R, Mavilidi MF, Hillman CH, et al. Effects of Resistance Training on Academic Outcomes in School-Aged Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine.* 2023 Nov; 53(11):2095-109.
 100. Faigenbaum AD, Straccioli A, Macdonald JP, Rial Rebullido T. Socioecological approach for building stronger youth for life. *Br J Sports Med.* 2023 Sep; 57(18):1162-3.
 101. Myer GD, Faigenbaum AD, Edwards NM, Clark JF, Best TM, Sallis RE. Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach. *Br J Sports Med.* 2015 Dec; 49(23):1510-6.

102. Robinson K, Riley N, Owen K, Drew R, Mavilidi MF, Hillman CH, et al. Effects of Resistance Training on Academic Outcomes in School-Aged Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2023 Nov; 53(11):2095–109.
103. Mavilidi MF, Drew R, Morgan PJ, Lubans DR, Schmidt M, Riley N. Effects of different types of classroom physical activity breaks on children's on-task behaviour, academic achievement and cognition. *Acta Paediatrica, International Journal of Paediatrics*. 2020 Jan 1;109(1):158–65.
104. Lloyd RS, Cronin JB, Faigenbaum AD, Haff GG, Howard R, Kraemer WJ, et al. National Strength and Conditioning Association Position Statement on Long-Term Athletic Development. *J Strength Cond Res*. 2016 Jun; 30(6):1491–509.
105. Raghuveer G, Hartz J, Lubans DR, Takken T, Wiltz JL, Mietus-Snyder M, et al. Cardiorespiratory Fitness in Youth: An Important Marker of Health: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2020 Aug; 142(7):E101–18.
106. Ruiz JR, Cavero-Redondo I, Ortega FB, Welk GJ, Andersen LB, Martinez-Vizcaino V. Cardiorespiratory fitness cut points to avoid cardiovascular disease risk in children and adolescents; what level of fitness should raise a red flag? A systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med* [Internet]. 2016 Dec; 50(23):1451–8.
107. Ortega FB, Cadenas-Sanchez C, Lee D chul, Ruiz JR, Blair SN, Sui X. Fitness and Fatness as Health Markers through the lifespan: An Overview of Current Knowledge. *Progress in Preventive Medicine*. 2018 Apr; 3(2):e0013.
108. Armstrong N, Welsman J. The Development of Aerobic and Anaerobic Fitness with Reference to Youth Athletes. Vol. 2, *Journal of Science in Sport and Exercise*. Springer; 2020. p. 275–86.

109. Armstrong N. Top 10 Research Questions Related to Youth Aerobic Fitness. *Res Q Exerc Sport*. 2017 Apr 3;88(2):130–48.
110. McNarry M, Jones A. The influence of training status on the aerobic and anaerobic responses to exercise in children: A review. *Eur J Sport Sci*. 2014 Jan 14 (SUPPL.1):S57–68.
111. Cao M, Quan M, Zhuang J. Effect of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on cardiorespiratory fitness in children and adolescents: A meta-analysis. Vol. 16, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. MDPI; 2019.
112. Buchheit M, Laursen PB. High-Intensity Interval Training, Solutions to the Programming Puzzle. *Sports Medicine* 2013 43:5. 2013 Mar; 43(5):313–38.
113. Bond B, Weston KL, Williams CA, Barker AR. Perspectives on high-intensity interval exercise for health promotion in children and adolescents. *Open Access J Sports Med*. 2017 Nov; Volume 8:243–65.
114. Martínez-Vizcaíno V, Álvarez-Bueno C, Cervero-Redondo I, Pozuelo-Carrascosa DP, Garrido-Miguel M, Martínez-Hortelano JA, et al. MOVI-daFIT! Intervention Rationale and design of a cluster randomized controlled trial testing the effects on improving adiposity, cognition, and subclinical atherosclerosis by increasing cardiorespiratory fitness in children. *Medicine (United States)*. 2019 Mar 1;98(9).
115. Lambrick D, Westrupp N, Kaufmann S, Stoner L, Faulkner J. The effectiveness of a high-intensity games intervention on improving indices of health in young children. *J Sports Sci*. 2016 Feb; 34(3):190–8.
116. Harrison CB, Gill ND, Kinugasa T, Kilding AE. Development of Aerobic Fitness in Young Team Sport Athletes. *Sports Medicine*. 2015 Jul; 45(7):969–83.
117. Oliver JL, Lloyd RS, Rumpf MC. Developing speed throughout childhood and adolescence: The role of

- growth, maturation and training. *Strength Cond J*. 2013; 35(3):42-8.
118. Jeffreys I. *Developing Speed*. 2024.
 119. Cronin JB, Hansen KT. Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res*. 2005 May; 19(2):349-57.
 120. Chelly MS, Ghenem MA, Abid K, Hermassi S, Tabka Z, Shephard RJ. Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump-and sprint performance of soccer players. *J Strength Cond Res*. 2010 Oct; 24(10):2670-6.
 121. Loturco I, Nakamura FY, Kobal R, Gil S, Cal Abad CC, Cuniyochi R, et al. Training for power and speed: Effects of increasing or decreasing jump squat velocity in elite young soccer players. *J Strength Cond Res*. 2015 Oct; 29(10):2771-9.
 122. Cunningham DJ, West DJ, Owen NJ, Shearer DA, Finn C V., Bracken RM, et al. Strength and power predictors of sprinting performance in professional rugby players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2013 Apr; 53(2):105-11.
 123. Meyers RW, Oliver JL, Hughes MG, Lloyd RS, Cronin JB. New insights into the development of maximal sprint speed in male youth. *Strength Cond J [Internet]*. 2017 Apr; 39(2):2-10.
 124. Meyers RW, Oliver JL, Hughes MG, Lloyd RS, Cronin JB. Influence of Age, Maturity, and Body Size on the Spatiotemporal Determinants of Maximal Sprint Speed in Boys. *J Strength Cond Res*. 2017 Apr; 31(4):1009-16.
 125. Rumpf MC, Cronin JB, Oliver J, Hughes M. Kinematics and Kinetics of Maximum Running Speed in Youth Across Maturity. *Pediatr Exerc Sci*. 2015 May; 27(2):277-84.
 126. Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci*. 2006 Mar; 24(3):221-30.

127. Álvarez-Bueno C, Pesce C, Caverro-Redondo I, Sánchez-López M, Martínez-Hortelano JA, Martínez-Vizcaíno V. The Effect of Physical Activity Interventions on Children's Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 56, *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*. Elsevier Inc.; 2017. p. 729–38.
128. Norris E, Van Steen T, Direito A, Stamatakis E. Physically active lessons in schools and their impact on physical activity, educational, health and cognition outcomes: A systematic review and meta-analysis. Vol. 54, *British Journal of Sports Medicine*. BMJ Publishing Group; 2020. p. 826–38.
129. Martínez-Vizcaíno V, Soriano-Cano A, Garrido-Miguel M, Caverro-Redondo I, Medio EP de, Madrid VM, et al. The effectiveness of a high-intensity interval games intervention in schoolchildren: A cluster-randomized trial. *Scand J Med Sci Sports*. 2022 Apr 1;32(4):765–81.
130. Daly-Smith AJ, Zwolinsky S, McKenna J, Tomporowski PD, Defeyter MA, Manley A. Systematic review of acute physically active learning and classroom movement breaks on children's physical activity, cognition, academic performance and classroom behaviour: Understanding critical design features. Vol. 4, *BMJ Open Sport and Exercise Medicine*. BMJ Publishing Group; 2018.
131. Martin-Martinez C, Valenzuela PL, Martinez-Zamora M, Martinez-de-Quel Ó. School-based physical activity interventions and language skills: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Vol. 26, *Journal of Science and Medicine in Sport*. Elsevier Ltd; 2023. p. 140–8.
132. Drummy C, Murtagh EM, McKee DP, Breslin G, Davison GW, Murphy MH. The effect of a classroom activity break on physical activity levels and adiposity in primary school children. *J Paediatr Child Health*. 2016 Jul 1;52(7):745–9.

133. Lubans D, Richards J, Hillman C. Physical Activity for Cognitive and Mental Health in Youth: A Systematic Review of Mechanisms. Vol. 138, Review Article Pediatrics. 2016.
134. Papadopoulos N, Mantilla A, Bussey K, Emonson C, Olive L, McGillivray J, et al. Understanding the Benefits of Brief Classroom-Based Physical Activity Interventions on Primary School-Aged Children's Enjoyment and Subjective Wellbeing: A Systematic Review. *Journal of School Health*. 2022 Sep 1;92(9):916-32.
135. Chaput JP, Willumsen J, Bull F, Chou R, Ekelund U, Firth J, et al. 2020 WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour for children and adolescents aged 5-17 years: summary of the evidence. Vol. 17, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. BioMed Central Ltd; 2020.
136. Chaabene H, Markov A, Schega L. Why should the Next Generation of Youth Guidelines Prioritize Vigorous Physical Activity? *Sports Med Open*. 2024 Dec 1;10(1).
137. Donnelly JE, Lambourne K. Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Prev Med (Baltim)*. 2011 Jun 1;52(Suppl.).
138. Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D, Etnier JL, Lee S, Tomporowski P, et al. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. Vol. 48, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Lippincott Williams and Wilkins; 2016. p. 1197-222.
139. Mazzoli E, Salmon J, Pesce C, Teo WP, Rinehart N, May T, et al. Effects of classroom-based active breaks on cognition, sitting and on-task behaviour in children with intellectual disability: a pilot study. *Journal of Intellectual Disability Research*. 2021 May; 65(5):464-88.
140. Erickson KI, Hillman C, Stillman CM, Ballard RM, Bloodgood B, Conroy DE, et al. Physical Activity, Cognition, and Brain Outcomes: A Review of the 2018 Physical

- Activity Guidelines. Vol. 51, Medicine and Science in Sports and Exercise. Lippincott Williams and Wilkins; 2019. p. 1242–51.
141. Ruhland S, Lange KW. Effect of classroom-based physical activity interventions on attention and on-task behavior in schoolchildren: A systematic review. Vol. 3, Sports Medicine and Health Science. KeAi Communications Co.; 2021. p. 125–33.
 142. Vetter M, O'Connor HT, O'Dwyer N, Chau J, Orr R. 'Maths on the move': Effectiveness of physically-active lessons for learning maths and increasing physical activity in primary school students. *J Sci Med Sport*. 2020 Aug 1;23(8):735–9.
 143. Fairclough SJ, Beighle A, Erwin H, Ridgers ND. School day segmented physical activity patterns of high and low active children. *BMC Public Health*. 2012;12(1).
 144. Watson A, Timperio A, Brown H, Best K, Hesketh KD. Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes: A systematic review and meta-analysis. Vol. 14, International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity. BioMed Central Ltd.; 2017.
 145. Jones M, Defever E, Letsinger A, Steele J, Mackintosh KA. A mixed-studies systematic review and meta-analysis of school-based interventions to promote physical activity and/or reduce sedentary time in children. Vol. 9, Journal of Sport and Health Science. Elsevier B.V.; 2020. p. 3–17.
 146. Masini A, Marini S, Gori D, Leoni E, Rochira A, Dallolio L. Evaluation of school-based interventions of active breaks in primary schools: A systematic review and meta-analysis. Vol. 23, Journal of Science and Medicine in Sport. Elsevier Ltd; 2020. p. 377–84.
 147. Peiris Dlihk, Duan Y, Vandelanotte C, Liang W, Yang M, Baker JS. Effects of In-Classroom Physical Activity Breaks on Children's Academic Performance, Cognition, Health Behaviours and Health Outcomes: A Systematic Review

- and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. Vol. 19, International Journal of Environmental Research and Public Health. MDPI; 2022.
148. De Greeff JW, Hartman E, Mullender-Wijnsma MJ, Bosker RJ, Doolaard S, Visscher C. Effect of Physically Active Academic Lessons on Body Mass Index and Physical Fitness in Primary School Children. *Journal of School Health*. 2016 May; 86(5):346–52.
 149. Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D, Etnier JL, Lee S, Tomporowski P, et al. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. Vol. 48, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Lippincott Williams and Wilkins; 2016. p. 1197–222.
 150. Clark S V., Semmel ES, Aleksonis HA, Steinberg SN, King TZ. Cerebellar-Subcortical-Cortical Systems as Modulators of Cognitive Functions. *Neuropsychology Review* 2021 31:3. 2021 Jan; 31(3):422–46.
 151. Tomporowski PD, McCullick B, Pendleton DM, Pesce C. Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. Vol. 4, *Journal of Sport and Health Science*. Elsevier B.V.; 2015. p. 47–55.
 152. Ma JK, Mare L Le, Gurd BJ. Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9- to 11-year-olds. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. 2015 Nov 20;40(3):238–44.
 153. Mavilidi MF, Pesce C, Benzing V, Schmidt M, Paas F, Okely AD, et al. Meta-analysis of movement-based interventions to aid academic and behavioral outcomes: A taxonomy of relevance and integration. Vol. 37, *Educational Research Review*. Elsevier Ltd; 2022.
 154. Kibbe DL, Hackett J, Hurley M, McFarland A, Schubert KG, Schultz A, et al. Ten Years of TAKE 10!®: Integrating physical activity with academic concepts in elementary

- school classrooms. *Prev Med (Baltim)*. 2011 Jun 1;52(SUPPL.).
155. Chalkley AE, Mandelid MB, Thurston M, Daly-Smith A, Singh A, Huiberts I, et al. "Go beyond your own comfort zone and challenge yourself": A comparison on the use of physically active learning in Norway, the Netherlands and the UK. *Teach Teach Educ*. 2022 Oct 1;118.
 156. Masini A, Ceciliani A, Dallolio L, Gori D, Marini S. Evaluation of feasibility, effectiveness, and sustainability of school-based physical activity "active break" interventions in pre-adolescent and adolescent students: a systematic review. Vol. 113, *Canadian Journal of Public Health*. Springer Nature; 2022. p. 713–25.
 157. Van den Berg V, Saliasi E, de Groot RHM, Chinapaw MJM, Singh AS. Improving cognitive performance of 9-12 years old children: Just dance? A randomized controlled trial. *Front Psychol*. 2019 Feb 6;10(FEB).
 158. Bedard C, St John L, Bremer E, Graham JD, Cairney J. A systematic review and meta-analysis on the effects of physically active classrooms on educational and enjoyment outcomes in school age children. *PLoS One*. 2018 Jul 1;14(6).
 159. Carson V, Hunter S, Kuzik N, Wiebe SA, Spence JC, Friedman A, et al. Systematic review of physical activity and cognitive development in early childhood. *J Sci Med Sport*. 2016 Jul 1;19(7):573–8.
 160. Bidzan-Bluma I, Lipowska M. Physical Activity and Cognitive Functioning of Children: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2018, Vol 15, Page 800. 2018 Apr; 15(4):800.
 161. Mavilidi MF, Okely A, Chandler P, Louise Domazet S, Paas F. Immediate and delayed effects of integrating physical activity into preschool children's learning of numeracy skills. *J Exp Child Psychol*. 2018 Feb 1;166:502–19.
 162. Batouli SAH, Saba V. At least eighty percent of brain grey matter is modifiable by physical activity: A review study.

- Vol. 332, Behavioural Brain Research. Elsevier B.V.; 2017. p. 204-17.
163. Saco-Ledo G, Valenzuela PL, Ruiz-Hurtado G, Ruilope LM, Lucia A. Exercise reduces ambulatory blood pressure in patients with hypertension: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Vol. 9, Journal of the American Heart Association. American Heart Association Inc.; 2020.
 164. Sultana RN, Sabag A, Keating SE, Johnson NA. The Effect of Low-Volume High-Intensity Interval Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. Vol. 49, Sports Medicine. Springer International Publishing; 2019. p. 1687-721.
 165. Izquierdo M, Merchant RA, Morley JE, Anker SD, Aprahamian I, Arai H, et al. International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines. Journal of Nutrition, Health and Aging. 2021 Jul 1;25(7):824-53.
 166. Quan H, Koltai E, Suzuki K, Aguiar AS, Pinho R, Boldogh I, et al. Exercise, redox system and neurodegenerative diseases. Vol. 1866, Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease. Elsevier B.V.; 2020.
 167. Xu X, Fu Z, Le W. Exercise and Parkinson's disease. In: International Review of Neurobiology. Academic Press Inc.; 2019. p. 45-74.
 168. Luo L, Meng H, Wang Z, Zhu S, Yuan S, Wang Y, et al. Effect of high-intensity exercise on cardiorespiratory fitness in stroke survivors: A systematic review and meta-analysis. Vol. 63, Annals of Physical and Rehabilitation Medicine. Elsevier Masson SAS; 2020. p. 59-68.
 169. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine - Evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. Scand J Med Sci Sports. 2015 Dec 1; 25:1-72.
 170. Solis-Urra P, Olivares-Arancibia J, Suarez-Cadenas E, Sanchez-Martinez J, Rodríguez-Rodríguez F, Ortega FB, et al. Study protocol and rationale of the "cogni-action

- project” a cross-sectional and randomized controlled trial about physical activity, brain health, cognition, and educational achievement in schoolchildren. *BMC Pediatr.* 2019 Jul 26;19(1).
171. Donnelly JE, Hillman CH, Castelli D, Etnier JL, Lee S, Tomporowski P, et al. Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review. Vol. 48, *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Lippincott Williams and Wilkins; 2016. p. 1197–222.
 172. Wassenaar TM, Williamson W, Johansen-Berg H, Dawes H, Roberts N, Foster C, et al. A critical evaluation of systematic reviews assessing the effect of chronic physical activity on academic achievement, cognition and the brain in children and adolescents: A systematic review. Vol. 17, *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. BioMed Central Ltd; 2020.
 173. Ma CL, Ma XT, Wang JJ, Liu H, Chen YF, Yang Y. Physical exercise induces hippocampal neurogenesis and prevents cognitive decline. Vol. 317, *Behavioural Brain Research*. Elsevier B.V.; 2017. p. 332–9.
 174. Taubert M, Draganski B, Anwander A, Müller K, Horstmann A, Villringer A, et al. Dynamic properties of human brain structure: Learning-related changes in cortical areas and associated fiber connections. *Journal of Neuroscience*. 2010 Sep 1;30(35):11670–7.
 175. Bezzola L, Mérillat S, Gaser C, Jäncke L. Training-induced neural plasticity in golf novices. *Journal of Neuroscience*. 2011 Aug 31;31(35):12444–8.
 176. Steventon JJ, Foster C, Furby H, Helme D, Wise RG, Murphy K. Hippocampal Blood Flow Is Increased after 20 min of Moderate-Intensity Exercise. *Cerebral Cortex*. 2020 Mar 21;30(2):525–33.
 177. Vicente-Campos D, Mauren J, Mora B. Article in *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2012.

178. Zatorre RJ, Fields RD, Johansen-Berg H. Plasticity in gray and white: Neuroimaging changes in brain structure during learning. Vol. 15, *Nature Neuroscience*. 2012. p. 528–36.
179. Claassen JAHR, Thijssen DHJ, Panerai RB, Faraci FM. Regulation of cerebral blood flow in humans: Physiology and clinical implications of autoregulation. *Physiol Rev*. 2021 Oct 1;101(4):1487–559.
180. Bliss ES, Wong RHX, Howe PRC, Mills DE. Benefits of exercise training on cerebrovascular and cognitive function in ageing. Vol. 41, *Journal of Cerebral Blood Flow and Metabolism*. SAGE Publications Ltd; 2021. p. 447–70.
181. Horowitz AM, Fan X, Bieri G, Smith LK, Sanchez-Diaz CI, Schroer AB, et al. Blood factors transfer beneficial effects of exercise on neurogenesis and cognition to the aged brain. 2020.
182. Leiter O, Seidemann S, Overall RW, Ramasz B, Rund N, Schallenberg S, et al. Exercise-Induced Activated Platelets Increase Adult Hippocampal Precursor Proliferation and Promote Neuronal Differentiation. *Stem Cell Reports*. 2019 Apr 9;12(4):667–79.
183. Cassilhas RC, Viana VAR, Grassmann V, Santos RT, Santos RF, Tufik S, et al. The impact of resistance exercise on the cognitive function of the elderly. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 Aug;39(8):1401–7.
184. Voss MW, Vivar C, Kramer AF, van Praag H. Bridging animal and human models of exercise-induced brain plasticity. Vol. 17, *Trends in Cognitive Sciences*. 2013. p. 525–44.
185. Van Praag H. Exercise and the brain: something to chew on. Vol. 32, *Trends in Neurosciences*. 2009. p. 283–90.
186. Xiao J, Wong AW, Willingham MM, Van Den Buuse M, Kilpatrick TJ, Murray SS. Brain-derived neurotrophic factor promotes central nervous system myelination via a direct effect upon oligodendrocytes. *Neurosignals*. 2011 Mar;18(3):186–202.

187. Geier KT, Buchsbaum BR, Parimoo S, Olsen RK. The role of anterodorsal thalamus in associative memory encoding and retrieval. *Neuropsychologia*. 2020 Nov 1;148.
188. Goel R, Nakagome S, Rao N, Paloski WH, Contreras-Vidal JL, Parikh PJ. Fronto-Parietal Brain Areas Contribute to the Online Control of Posture during a Continuous Balance Task. *Neuroscience*. 2019 Aug 10;413:135–53.
189. Schlaffke L, Lissek S, Lenz M, Brüne M, Juckel G, Hinrichs T, et al. Sports and brain morphology - A voxel-based morphometry study with endurance athletes and martial artists. *Neuroscience*. 2014 Feb 4;259:35–42.
190. Gryga M, Taubert M, Dukart J, Vollmann H, Conde V, Sehm B, et al. Bidirectional gray matter changes after complex motor skill learning. *Front Syst Neurosci*. 2012 May 16;(MAY 2012).
191. Caspers S, Zilles K, Laird AR, Eickhoff SB. ALE meta-analysis of action observation and imitation in the human brain. *Neuroimage*. 2010 Apr 15;50(3):1148–67.
192. Rocca R, Coventry KR, Tylén K, Staib M, Lund TE, Wallentin M. Language beyond the language system: Dorsal visuospatial pathways support processing of demonstratives and spatial language during naturalistic fast fMRI. *Neuroimage*. 2020 Aug 1;216.
193. Li X, Krol MA, Jahani S, Boas DA, Tager-Flusberg H, Yücel MA. Brain correlates of motor complexity during observed and executed actions. *Sci Rep*. 2020 Dec 1;10(1).
194. Bhattacharjee S, Kashyap R, Abualait T, Annabel Chen SH, Yoo WK, Bashir S. The Role of Primary Motor Cortex: More Than Movement Execution. Vol. 53, *Journal of Motor Behavior*. Routledge; 2021. p. 258–74.
195. Yeom HG, Kim JS, Chung CK. Brain mechanisms in motor control during reaching movements: Transition of functional connectivity according to movement states. *Sci Rep*. 2020 Dec 1;10(1).
196. Tanglay O, Young IM, Dadario NB, Briggs RG, Fonseka RD, Dhanaraj V, et al. Anatomy and white-matter connections

- of the precuneus. *Brain Imaging Behav.* 2022 Apr 1;16(2):574–86.
197. Potok W, Maskiewicz A, Króliczak G, Marangon M. The temporal involvement of the left supramarginal gyrus in planning functional grasps: A neuronavigated TMS study. *Cortex.* 2019 Feb 1;111:16–34.
 198. Alexander AS, Robinson JC, Dannenberg H, Kinsky NR, Levy SJ, Mau W, et al. Neurophysiological coding of space and time in the hippocampus, entorhinal cortex, and retrosplenial cortex. *Brain Neurosci Adv.* 2020 Jan;4:239821282097287.
 199. Caffarra S, Karipidis II, Yablonski M, Yeatman JD. Anatomy and physiology of word-selective visual cortex: from visual features to lexical processing. *Brain Structure and Function* 2021 226:9. 2021 Oct; 226(9):3051–65.
 200. Okamoto M, Mizuuchi D, Omura K, Lee M, Oharazawa A, Yook JS, et al. High-intensity Intermittent Training Enhances Spatial Memory and Hippocampal Neurogenesis Associated with BDNF Signaling in Rats. *Cerebral Cortex.* 2021; 31(9):4386–97.
 201. Baumann O, Mattingley JB. Extrahippocampal contributions to spatial navigation in humans: A review of the neuroimaging evidence. *Hippocampus.* 2021 Jul. 2023; 31(7):640–57.
 202. Monosov IE, Rushworth MFS. Interactions between ventrolateral prefrontal and anterior cingulate cortex during learning and behavioural change. *Neuropsychopharmacology* 2021 47:1; 47(1):196–210.
 203. Salehinejad MA, Ghanavati E, Rashid MHA, Nitsche MA. Hot and cold executive functions in the brain: A prefrontal-cingular network.
 204. Porter BS, Hillman KL, Bilkey DK. Anterior cingulate cortex encoding of effortful behavior. *J Neurophysiol.* 2019 Feb;121(2):701–14.

205. Fritch HA, Spets DS, Slotnick SD. Functional connectivity with the anterior and posterior hippocampus during spatial memory. *Hippocampus*. 2021 Jul; 31(7):658–68.
206. Fontes EB, Bortolotti H, Grandjean Da Costa K, MacHado De Campos B, Castanho GK, Hohl R, et al. Modulation of cortical and subcortical brain areas at low and high exercise intensities. *Br J Sports Med*. 2020 Jan; 54(2):110–5.
207. Bizzi E, Ajemian R. From motor planning to execution: A sensorimotor loop perspective. *J Neurophysiol* [Internet]. 2020 Dec; 124(6):1815–23.
208. Rusu SI, Pennartz CMA. Learning, memory and consolidation mechanisms for behavioral control in hierarchically organized cortico-basal ganglia systems. *Hippocampus*. 2020 Jan; 30(1):73–98.
209. Voelcker-Rehage C, Godde B, Staudinger UM. Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Front Hum Neurosci*. 2011 Mar 17;5(MARCH):8079.
210. Singh AM, Neva JL, Staines WR. Aerobic exercise enhances neural correlates of motor skill learning. *Behavioural Brain Research*. 2016 Mar 15;301:19–26.
211. Coelho-Junior H, Marzetti E, Calvani R, Picca A, Arai H, Uchida M. Resistance training improves cognitive function in older adults with different cognitive status: a systematic review and Meta-analysis. *Aging Ment Health*. 2022;26(2):213–24.
212. Forte R, Boreham CAG, Leite JC, De Vito G, Brennan L, Gibney ER, et al. Enhancing cognitive functioning in the elderly: Multicomponent vs resistance training. *Clin Interv*. 2013 Jan; 8:19–27.
213. Erickson KI, Voss MW, Prakash RS, Basak C, Szabo A, Chaddock L, et al. Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2011 Fe; 108(7):3017–22.

214. Tanaka T, Nishimura A, Nishiyama K, Goto T, Numaga-Tomita T, Nishida M. Mitochondrial dynamics in exercise physiology. *Pflugers Arch*. 2020 Feb; 472(2):137–53.
215. Jacini WFS, Cannonieri GC, Fernandes PT, Bonilha L, Cendes F, Li LM. Can exercise shape your brain? Cortical differences associated with judo practice. *J Sci Med Sport*. 2009 Nov 1;12(6):688–90.
216. Wei G, Zhang Y, Jiang T, Luo J. Increased Cortical Thickness in Sports Experts: A Comparison of Diving Players with the Controls. *PLoS One*. 2011; 6(2):e17112.
217. Park IS, Lee KJ, Han JW, Lee NJ, Lee WT, Park KA, et al. Basketball training increases striatum volume. *Hum Mov Sci*. 2011 Feb 1;30(1):56–62.
218. Niemann C, Godde B, Voelcker-Rehage C. Senior Dance Experience, Cognitive Performance, and Brain Volume in Older Women. *Neural Plast*. 2016;2016.
219. Suo C, Singh MF, Gates N, Wen W, Sachdev P, Brodaty H, et al. Therapeutically relevant structural and functional mechanisms triggered by physical and cognitive exercise. *Molecular Psychiatry* 2016 21:11. 2016 Mar; 21(11):1633–42.
220. Zheng G, Ye B, Zheng Y, Xiong Z, Xia R, Qiu P, et al. The effects of exercise on the structure of cognitive related brain regions: a meta-analysis of functional neuroimaging data. *International Journal of Neuroscience*. 2019 Apr; 129(4):406–15.
221. Mueller K, Moller HE, Horstmann A, Busse F, Lepsien J, Bluher M, et al. Physical exercise in overweight to obese individuals induces metabolic-and neurotrophic-related structural brain plasticity. *Front Hum Neurosci*. 2015 Jul 1;9(JULY):140828.
222. Thomas AG, Dennis A, Rawlings NB, Stagg CJ, Matthews L, Morris M, et al. Multi-modal characterization of rapid anterior hippocampal volume increase associated with aerobic exercise. *Neuroimage*. 2016 May 1;131:162–70.
223. Sehm B, Taubert M, Conde V, Weise D, Classen J, Dukart J, et al. Structural brain plasticity in Parkinson's disease

- induced by balance training. *Neurobiol Aging*. 2014 Jan 1;35(1):232–9.
224. Carson RG. Get a grip: individual variations in grip strength are a marker of brain health. *Neurobiol Aging*. 2018 Nov 1;71:189–222.
 225. Valkenborghs SR, Noetel M, Hillman CH, Nilsson M, Smith JJ, Ortega FB, et al. The impact of physical activity on brain structure and function in youth: A systematic review. *Pediatrics*. 2019 Oct; 144(4):20184032.
 226. Zhu L, Yu Q, Herold F, Cheval B, Dong X, Cui L, et al. Brain Structure, Cardiorespiratory Fitness, and Executive Control Changes after a 9-Week Exercise Intervention in Young Adults: A Randomized Controlled Trial. *Life* 2021, Vol 11, Page 292. 2021 Mar 30; 11(4):292.
 227. Kawagoe T, Onoda K, Yamaguchi S. Associations among executive function, cardiorespiratory fitness, and brain network properties in older adults. *Scientific Reports* 2017 7:1. 2017; 7(1):1–9.
 228. Hamzei F, Glauche V, Schwarzwald R, May A. Dynamic gray matter changes within cortex and striatum after short motor skill training are associated with their increased functional interaction. *Neuroimage*. 2012 Feb 15;59(4):3364–72.
 229. Liu-Ambrose T, Nagamatsu LS, Voss MW, Khan KM, Handy TC. Resistance training and functional plasticity of the aging brain: a 12-month randomized controlled trial. *Neurobiol Aging*. 2012 Aug 1;33(8):1690–8.
 230. San-Millán I. The Key Role of Mitochondrial Function in Health and Disease. *Antioxidants* 2023, Vol 12, Page 782. 2023 Mar; 12(4):782.
 231. Ruscheweyh R, Willemer C, Krüger K, Duning T, Warnecke T, Sommer J, et al. Physical activity and memory functions: An interventional study. *Neurobiol Aging*. 2011 jul 1;32(7):1304–19.
 232. Kanaley JA, Colberg SR, Corcoran MH, Malin SK, Rodriguez NR, Crespo CJ, et al. Exercise/Physical Activity

- in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* 2022 Feb 1; 54(2):353.
233. Banday MZ, Sameer AS, Nissar S. Pathophysiology of diabetes: An overview. *Avicenna J Med.* 2020 Oct;10(04):174–88.
 234. Cockcroft EJ, Narendran P, Andrews RC. Exercise-induced hypoglycaemia in type 1 diabetes. *Exp Physiol.* 2020 Apr; 105(4):590–9.
 235. Gomez-Diaz R. Pathophysiology of Type 1 Diabetes. *The Diabetes Textbook: Clinical Principles, Patient Management and Public Health Issues, Second Edition* [Internet]. 2023 Jan 1; 115–26.
 236. American Diabetes Association. 10. Cardiovascular Disease and Risk Management: Standards of Medical Care in Diabetes—2020. *Diabetes Care.* 2020 Jan 1; 43(Supplement_1):S111–34.
 237. Saeedi P, Petersohn I, Salpea P, Malanda B, Karuranga S, Unwin N, et al. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. *Diabetes Res Clin Pract.* 2019 Nov 1; 157:107843.
 238. Cho NH, Shaw JE, Karuranga S, Huang Y, da Rocha Fernandes JD, Ohlrogge AW, et al. IDF Diabetes Atlas: Global estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045. *Diabetes Res Clin Pract.* 2018 Apr 1; 138:271–81.
 239. Association AD. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes—2021. *Diabetes Care* 2021 Jan 1; 44(Supplement_1):S15–33.
 240. American Diabetes Association. 2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes—2021. *Diabetes Care.* 2021 Jan 1; 44(Supplement_1):S15–33.

241. Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, Taplin CE, Adolfsson P, Lumb AN, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2017 May 1; 5(5):377–90.
242. Liu LL, Lawrence JM, Davis C, Liese AD, Pettitt DJ, Pihoker C, et al. Prevalence of overweight and obesity in youth with diabetes in USA: the SEARCH for Diabetes in Youth Study. *Pediatr Diabetes*. 2010 Feb 1; 11(1):4–11.
243. Carino M, Elia Y, Sellers E, Curtis J, McGavock J, Scholey J, et al. Comparison of Clinical and Social Characteristics of Canadian Youth Living With Type 1 and Type 2 Diabetes. *Can J Diabetes*. 2021 Jul 1;45(5):428–35.
244. Absil H, Baudet L, Robert A, Lysy PA. Benefits of physical activity in children and adolescents with type 1 diabetes: A systematic review. *Diabetes Res Clin Pract*. 2019 Oct 1;156:107810.
245. Slaght JL, Wicklow BA, Dart AB, Sellers EAC, Gabbs M, Carino M, et al. Physical activity and cardiometabolic health in adolescents with type 2 diabetes: a cross-sectional study. *BMJ Open Diabetes Res Care*. 2021 May 1; 9(1):e002134.
246. Adolfsson P, Taplin CE, Zaharieva DP, Pemberton J, Davis EA, Riddell MC, et al. ISPAD Clinical Practice Consensus Guidelines 2022: Exercise in children and adolescents with diabetes. *Pediatr Diabetes*. 2022 Dec 1; 23(8):1341–72.
247. Lagestad P, van den Tillaar R, Mamen A. Longitudinal Changes in Physical Activity Level, Body Mass Index, and Oxygen Uptake Among Norwegian Adolescents. *Front Public Health* [Internet]. 2018 Mar 29 [cited 2024 Jun 21];6:361192. Available from: www.frontiersin.org
248. Sundberg F, Forsander G, Fasth A, Ekelund U. Children younger than 7 years with type 1 diabetes are less physically active than healthy controls. *Acta Paediatr*. 2012 Nov 1; 101(11):1164–9.
249. De Lima VA, Mascarenhas LPG, Decimo JP, De Souza WC, Monteiro ALS, Lahart I, et al. Physical Activity Levels of

- Adolescents with Type 1 Diabetes Physical Activity in T1D. *Pediatr Exerc Sci*. 2017 May 1; 29(2):213–9.
250. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine – evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J Med Sci Sports*. 2015 Dec 1; 25:1–72.
 251. Chetty T, Shetty V, Fournier PA, Adolfsson P, Jones TW, Davis EA. Exercise management for young people with type 1 diabetes: A structured approach to the exercise consultation. *Front Endocrinol (Lausanne)* [Internet]. 2019 Jun 14 [cited 2024 Jul 19];10(JUN):424791. Available from: www.frontiersin.org
 252. Shetty VB, Fournier PA, Davey RJ, Retterath AJ, Paramalingam N, Roby HC, et al. Effect of Exercise Intensity on Glucose Requirements to Maintain Euglycemia During Exercise in Type 1 Diabetes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2016 Mar 1; 101(3):972–80.
 253. Zaharieva DP, Riddell MC. Prevention of Exercise-Associated Dysglycemia: A Case Study-Based Approach. *Diabetes Spectrum* [Internet]. 2015 Feb 1 [cited 2024 Jul 21];28(1):55–62. Available from: <https://dx.doi.org/10.2337/diaspect.28.1.55>
 254. Van Hooren B, Peake JM. Do We Need a Cool-Down After Exercise? A Narrative Review of the Psychophysiological Effects and the Effects on Performance, Injuries and the Long-Term Adaptive Response. *Sports Medicine* 2018 48:7. 2018 Apr 16; 48(7):1575–95.
 255. Hargreaves M, Spriet LL. Skeletal muscle energy metabolism during exercise. Vol. 2, *Nature Metabolism*. Nature Research; 2020. p. 817–28.
 256. Antonarakis SE, Skotko BG, Rafii MS, Strydom A, Pape SE, Bianchi DW, et al. Down syndrome. *Nat Rev Dis Primers*. 2020 Jan 1;6(1).
 257. Malak R, Kostiukow A, Krawczyk-Wasielewska A, Mojs E, Samborski W. Delays in Motor Development in Children with Down Syndrome. *Medical Science Monitor*. 2015 Jul 1; 21:1904–10.

258. Rodríguez-Grande EI, Vargas-Pinilla OC, Torres-Narvaez MR, Rodríguez-Malagón N. Neuromuscular exercise in children with Down Syndrome: a systematic review. *Scientific Reports* 2022 12:1. 2022 Sep 2; 12(1):1-12.
259. Frank K, Esbensen AJ. Fine motor and self-care milestones for individuals with Down syndrome using a Retrospective Chart Review. *Journal of Intellectual Disability Research*. 2015 Aug 1;59(8):719-29.
260. Brugnaro BH, Oliveira MFP, de Campos AC, Pavão SL, Rocha NACF. Postural control in Down syndrome and relationships with the dimensions of the International Classification of Functioning, Disability and Health – a systematic review. *Disabil Rehabil*. 2022; 44(11):2207-22.
261. Maïano C, Hue O, Tracey D, Lepage G, Morin AJS, Moullec G. Static postural control among school-aged youth with Down syndrome: A systematic review. *Gait Posture*. 2018 May 1; 62:426-33.
262. Ruiz-González L, Lucena-Antón D, Salazar A, Martín-Valero R, Moral-Munoz JA. Physical therapy in Down syndrome: systematic review and meta-analysis. *Journal of Intellectual Disability Research*. 2019 Aug 1; 63(8):1041-67.
263. Filipa A, Byrnes R, Paterno M V., Myer GD, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2010 Sep 1; 40(9):551-8.
264. Taulaniemi A, Kankaanpää M, Tokola K, Parkkari J, Suni JH. Neuromuscular exercise reduces low back pain intensity and improves physical functioning in nursing duties among female healthcare workers; secondary analysis of a randomised controlled trial. *BMC Musculoskelet Disord*. 2019 Jul 13; 20(1).
265. Olsen NJ, Østergaard JN, Bjerregaard LG, Høy T V., Kierkegaard L, Michaelsen KF, et al. A literature review of evidence for primary prevention of overweight and

- obesity in healthy weight children and adolescents: A report produced by a working group of the Danish Council on Health and Disease Prevention. *Obesity Reviews*. 2024 Jan 1; 25(1):e13641.
266. Jebeile H, Kelly AS, O'Malley G, Baur LA. Obesity in children and adolescents: epidemiology, causes, assessment, and management. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2022 May 1; 10(5):351–65.
 267. Lim HJ, Xue H, Wang Y. Global Trends in Obesity. *Handbook of Eating and Drinking: Interdisciplinary Perspectives*. 2020 Jan; 1217–35.
 268. Garrido-Miguel M, Caverio-Redondo I, Álvarez-Bueno C, Rodríguez-Artalejo F, Moreno LA, Ruiz JR, et al. Prevalence and Trends of Overweight and Obesity in European Children From 1999 to 2016: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Pediatr*. 2019 Oct 1; 173(10):e192430–e192430.
 269. Di Cesare M, Sorić M, Bovet P, Miranda JJ, Bhutta Z, Stevens GA, et al. The epidemiological burden of obesity in childhood: A worldwide epidemic requiring urgent action. *BMC Med*. 2019 Nov 25; 17(1):1–20.
 270. Lv N, Azar KMJ, Rosas LG, Wulfovich S, Xiao L, Ma J. Behavioral lifestyle interventions for moderate and severe obesity: A systematic review. *Prev Med (Baltim)*. 2017 Jul 1; 100:180–93.
 271. Jastreboff AM, Aronne LJ, Ahmad NN, Wharton S, Connery L, Alves B, et al. Tirzepatide Once Weekly for the Treatment of Obesity. *New England Journal of Medicine*. 2022 Jul 21; 387(3):205–16.
 272. Wharton S, Lau DCW, Vallis M, Sharma AM, Biertho L, Campbell-Scherer D, et al. Obesity in adults: A clinical practice guideline. *CMAJ*. 2020 Aug 4; 192(31):E875–91.
 273. Stubbs RJ, Duarte C, Palmeira AL, Sniehotta FF, Horgan G, Larsen SC, et al. Evidence-Based Digital Tools for Weight Loss Maintenance: The NoHoW Project. *Obes Facts*. 2021 Jun 17; 14(3):320–33.

274. Chung ST, Onuzuruike AU, Magge SN. Cardiometabolic risk in obese children. *Ann N Y Acad Sci.* 2018 Jan 1; 1411(1):166–83.
275. Blond K, Carslake D, Gjørde LK, Vistisen D, Sørensen TIA, Smith GD, et al. Instrumental variable analysis using offspring BMI in childhood as an indicator of parental BMI in relation to mortality. *Sci Rep.* 2021 Dec 1; 11(1):1–10.
276. Reiband HK, Heitmann BL, Sørensen TIA. Adverse labour market impacts of childhood and adolescence overweight and obesity in Western societies—A literature review. *Obesity Reviews.* 2020 Aug 1; 21(8):e13026.
277. Woo Baidal JA, Locks LM, Cheng ER, Blake-Lamb TL, Perkins ME, Taveras EM. Risk Factors for Childhood Obesity in the First 1,000 Days: A Systematic Review. *Am J Prev Med.* 2016 Jun 1; 50(6):761–79.
278. Dewey KG, Güngör D, Donovan SM, Madan EM, Venkatramanan S, Davis TA, et al. Breastfeeding and risk of overweight in childhood and beyond: a systematic review with emphasis on sibling-pair and intervention studies. *Am J Clin Nutr.* 2021 Nov 1; 114(5):1774–90.
279. Martin RM, Kramer MS, Patel R, Rifas-Shiman SL, Thompson J, Yang S, et al. Effects of Promoting Long-term, Exclusive Breastfeeding on Adolescent Adiposity, Blood Pressure, and Growth Trajectories: A Secondary Analysis of a Randomized Clinical Trial. *JAMA Pediatr.* 2017 Jul 1; 171(7): e170698–e170698.
280. Morgen CS, Ängquist L, Baker JL, Andersen AMN, Sørensen TI, Michaelsen KF. Breastfeeding and complementary feeding in relation to body mass index and overweight at ages 7 and 11 y: a path analysis within the Danish National Birth Cohort. *Am J Clin Nutr.* 2018 Mar 1; 107(3):313–22.
281. Zheng, Cameron AJ, Birken CS, Keown-Stoneman C, Laws R, Wen LM, et al. Early Infant Feeding and BMI Trajectories in the First 5 Years of Life. *Obesity.* 2020 Feb 1; 28(2):339–46.

282. Camier A, Cissé AH, Heude B, Nicklaus S, Chabanet C, Bernard JY, et al. Infant feeding practices and body mass index up to 7.5 years in the French nationwide ELFE study. *Pediatr Obes*. 2024 Jul 1; 19(7):e13121.
283. Matricciani L, Paquet C, Galland B, Short M, Olds T. Children's sleep and health: A meta-review. *Sleep Med Rev*. 2019 Aug 1; 46:136–50.
284. Dutil C, Podinic I, Sadler CM, Da Costa BG, Janssen I, Ross-White A, et al. Sleep timing and health indicators in children and adolescents: a systematic review. *Health Promot Chronic Dis Prev Can*. 2022 Apr 1; 42(4):150.
285. Chaput, Gray CE, Poitras VJ, Carson V, Gruber R, Birken CS, et al. Systematic review of the relationships between sleep duration and health indicators in the early years (0-4 years). 2017.
286. James J, Pringle A, Mourton S, Roscoe CMP. The Effects of Physical Activity on Academic Performance in School-Aged Children: A Systematic Review. *Children*. 2023 Jun 1; 10(6):1019.
287. Gralla MH, McDonald SM, Breneman C, Beets MW, Moore JB. Associations of Objectively Measured Vigorous Physical Activity With Body Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Cardiometabolic Health in Youth: A Review. *Am J Lifestyle Med*. 2019 Jan 1; 13(1):61–97.
288. Veldman SLC, Chin A Paw MJM, Altenburg TM. Physical activity and prospective associations with indicators of health and development in children aged <5 years: a systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2021 Dec 1; 18(1):1–11.
289. Morrissey B, Taveras E, Allender S, Strugnell C. Sleep and obesity among children: A systematic review of multiple sleep dimensions. *Pediatr Obes*. 2020 Apr; 15(4):e12619.
290. Jang M, Owen B, Lauver DR. Different types of parental stress and childhood obesity: A systematic review of observational studies. *Obesity Reviews*. 2019 Dec 1; 20(12):1740–58.

291. Wyszynska J, Ring-Dimitriou S, Thivel D, Weghuber D, Hadjipanayis A, Grossman Z, et al. Physical Activity in the Prevention of Childhood Obesity: The Position of the European Childhood Obesity Group and the European Academy of Pediatrics. Vol. 8, *Frontiers in Pediatrics*. Frontiers Media S.A.; 2020.

AUTORES

Dennis Gregorio Contreras

Doctor en Educación y Magíster en Educación Física con mención en Fisiología del Ejercicio. Actualmente es docente investigador de la Universidad de Pamplona, donde participa en procesos académicos, proyectos de investigación y actividades de formación científica vinculadas a la educación física.

✉ dennis.contreras@unipamplona.edu.co
 <https://orcid.org/0000-0001-5492-6923>

Carlos Enrique García Yerena

Doctor en Educación y Magíster en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, de la Universidad de Pamplona, Colombia; Actualmente es docente investigador de la Universidad del Magdalena, donde participa en procesos académicos, proyectos de investigación y actividades de formación científica vinculadas a la Actividad Física.

✉ Cgarciaey@unimagdalena.edu.co
 <https://orcid.org/0000-0002-9973-552X>

Ailin Orjuela Duarte

Doctora en Educación y Magíster en Ciencias Computacionales. Actualmente es docente investigadora de la Universidad de Pamplona, donde participa en procesos académicos, proyectos de investigación y actividades de formación científica vinculadas a la Educación e Ingeniería de Sistemas.

✉ aorjuela@unipamplona.edu.co
 <https://orcid.org/0000-0002-8752-9569>

ISBN (Digital): 978-628-7937-13-0

