

Ejercicio

físico y Síndrome Metabólico: Actualización sobre la evidencia (2015–2025)

Physical exercise and metabolic syndrome: Evidence update (2015–2025)

Yanier Santana Rumbaut*

E-mail: yanierrumbaut@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-7288-0049>

*Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cienfuegos, Cuba. Sede Universitaria de Palmira, Cienfuegos. Cuba

*Autor para correspondencia.

Recibido: 12/08/25

Aceptado: 03/09/25

Publicado: 15/12/25

Santana Rumbaut, Y. (2025). Ejercicio físico y Síndrome Metabólico: Actualización sobre la evidencia (2015–2025). *Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 10, e812. <http://rccd.ucf.edu.cu/index.php/rccd/article/view/812>

RESUMEN

El síndrome metabólico constituye un importante problema de salud pública, asociado a obesidad abdominal, resistencia a la insulina, dislipidemia e hipertensión. El ejercicio físico ha demostrado ser una intervención eficaz para su prevención y tratamiento, el objetivo de este estudio consiste en actualizar la evidencia científica sobre los efectos del ejercicio físico en el síndrome metabólico en adultos, según estudios publicados entre 2015 y 2025. **Métodos:** Revisión sistemática realizada bajo los lineamientos PRISMA 2020. Se consultaron las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO y Cochrane Library. Se incluyeron estudios originales, ensayos clínicos y revisiones sistemáticas en humanos, publicados en español e inglés. **Resultados:** De un total de 865 artículos identificados, 12 cumplieron con los criterios de inclusión. La mayoría reportó mejoras significativas en la resistencia a la insulina, presión arterial, perfil lipídico y composición corporal, especialmente con programas combinados de entrenamiento aeróbico y de fuerza. **Conclusiones:** El ejercicio físico constituye una estrategia esencial para el manejo integral del síndrome metabólico. Los programas multicomponentes y supervisados ofrecen mayores beneficios.

Palabras clave

Síndrome metabólico, Ejercicio; Actividad física, Terapia de ejercicios, Resistencia a la insulina; Revisión sistemática.

ABSTRACT

Metabolic syndrome is a major public health problem associated with abdominal obesity, insulin resistance, dyslipidemia, and hypertension. Physical exercise has been shown to be an effective intervention for its prevention and treatment. The objective of this study is to update the scientific evidence on the effects of physical exercise on metabolic syndrome in adults, based on studies published between 2015 and 2025. **Methods:** A systematic review was conducted under PRISMA 2020 guidelines. The databases PubMed, Scopus, Web of Science, SciELO, and the Cochrane Library were searched. Original studies, clinical trials, and systematic reviews in humans, published in Spanish and English, were included. **Results:**

Of a total of 865 articles identified, 12 met the inclusion criteria. Most reported significant improvements in insulin resistance, blood pressure, lipid profile, and body composition, especially with combined aerobic and strength training programs. **Conclusions:** Physical exercise is an essential strategy for the comprehensive management of metabolic syndrome. Multi-component, supervised programs offer greater benefits.

Keywords

Metabolic Syndrome, Exercise; Physical Activity, Exercise Therapy, Insulin Resistance, Systematic Review.

INTRODUCCIÓN

El síndrome metabólico (SM) se presenta en la actualidad como un problema de salud pública global que acompaña la transición epidemiológica asociada al incremento de la obesidad y los estilos de vida sedentarios. La prevalencia del SM varía según las definiciones y las poblaciones estudiadas, pero múltiples revisiones y síntesis de datos muestran que afecta a una proporción sustancial de adultos en regiones de ingresos altos y medios, con estimaciones que oscilan en torno al 20–35 % en muchos contextos poblacionales (StatPearls, 2024).

Estudios recientes generan evidencia de subregiones con prevalencias aún mayores y de la presencia del síndrome en grupos etarios más jóvenes, lo que amplifica su impacto sanitario y socioeconómico (Zila-Velasqué et. al., 2024; Zhang et. al., 2024). En conjunto, los datos posicionan al SM como determinante mayor de morbilidad cardiovascular y diabetes tipo 2, y justifican la priorización de intervenciones preventivas y terapéuticas a nivel poblacional.

El SM se define por la coexistencia de alteraciones metabólicas interrelacionadas (obesidad central, dislipidemia aterogénica, hipertensión y alteraciones del metabolismo de la glucosa) que se manifiestan por mecanismos comunes como la insulinorresistencia, la inflamación de bajo grado y la disfunción del tejido adiposo visceral.

Desde la perspectiva molecular, la insulinorresistencia actúa como nodo central que se ve reforzado por cambios en la señalización mitocondrial, estrés oxidativo y desregulación de adipocinas (por ejemplo, adiponectina, leptina) que modulan la homeostasis metabólica (Li et. al., 2022).

Estudios experimentales y revisiones recientes describen vías clave: activación de AMPK (Enzima heterotrimérica), modulaciones en PPAR- γ (Factor de transcripción perteneciente a la familia de receptores nucleares) y alteraciones en la producción de óxido nítrico, que explican cómo las perturbaciones del tejido adiposo y la inflamación crónica promueven deterioro metabólico y daño a órganos diana (Wan et. al., 2024; Liu et. al., 2019).

Clínicamente, la confluencia de los factores mencionados incrementa de manera significativa el riesgo de aterosclerosis, eventos cardiovasculares mayores, enfermedad renal crónica y progresión a diabetes mellitus tipo 2, a su vez elevan la carga sanitaria y la mortalidad asociada.

El ejercicio físico constituye una intervención no farmacológica de primera línea capaz de mejorar múltiples componentes del SM. La evidencia acumulada indica que tanto el entrenamiento aeróbico como el de resistencia producen beneficios clínicos relevantes: mejora de la sensibilidad a la insulina, reducción de la presión arterial, mejoría del perfil lipídico y favorable modificación de la composición corporal (Liang et. al., 2021).

Además, programas combinados (aeróbico + fuerza) tienden a mostrar efectos más amplios y consistentes sobre

los parámetros cardiometabólicos que los programas aislados (Liang et. al., 2021). Modalidades recientes como el entrenamiento intercalado de alta intensidad (HIIT) también demuestran eficacia para mejorar marcadores cardiometabólicos en individuos con exceso de peso, SM y constituyen una alternativa de menor tiempo, pero con efectos comparables en algunos desenlaces (Poon et. al., 2024).

A nivel fisiológico, el ejercicio activa vías metabólicas (p. ej., AMPK) y modula la secreción de adipocinas y mediadores inflamatorios, lo que explica sus efectos sistémicos sobre la homeostasis glucolipídica y la función endotelial (Wan et. al., 2024).

A pesar del sólido cuerpo de evidencia, existen factores que demandan una actualización sistemática y rigurosa: la heterogeneidad en las definiciones diagnósticas del SM, la variabilidad en los protocolos de ejercicio (tipo, intensidad, duración y supervisión), y la diversidad de poblaciones estudiadas (edad, comorbilidades, aproximaciones étnicas y socioeconómicas) limitan la generalizabilidad de las conclusiones.

Además, en los últimos años se incrementa la literatura sobre mecanismos moleculares del ejercicio y aparecen nuevas modalidades y formatos de intervención (por ejemplo, HIIT, programas multicomponentes personalizados, enfoques híbridos con tele-rehabilitación), que no siempre están integrados en las revisiones previas (Wan et. al., 2024; Poon et. al., 2024).

Por otra parte, las síntesis anteriores señalan la conveniencia de comparar directamente distintas modalidades de entrenamiento y de evaluar la durabilidad de los efectos metabólicos, aspectos críticos para traducir la evidencia a recomendaciones prácticas y políticas de salud (Liang et. al., 2021).

Estas consideraciones justifican una revisión sistemática actualizada que abarque literatura reciente (2015–2025) y que incorpore evaluaciones de calidad metodológica y síntesis crítica de resultados.

El propósito de la presente revisión sistemática es actualizar y sintetizar, con enfoque crítico, la evidencia publicada entre 2015 y 2025 sobre los efectos del ejercicio físico en los componentes del síndrome metabólico en población adulta. Específicamente, la revisión busca:

- caracterizar los tipos de intervención física estudiados (aeróbico, resistencia, combinado, HIIT y otras modalidades),
- evaluar el efecto sobre desenlaces clínicos clave (glucemia, presión arterial, perfil lipídico, circunferencia abdominal) y
- examinar la evidencia sobre mecanismos fisiopatológicos que explican los efectos observados.

Esta actualización es relevante para investigadores, clínicos y responsables de políticas, pues aporta una base sintetizada y crítica que facilita la traducción de la evidencia

a recomendaciones de práctica, permite identificar vacíos de conocimiento y orienta el diseño de futuras investigaciones con mejor rigor metodológico y mayor aplicabilidad poblacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló una revisión sistemática de la literatura según las recomendaciones de la guía PRISMA 2020 (Page et. al., 2021). El objetivo fue recopilar y sintetizar la evidencia científica publicada entre enero de 2015 y junio de 2025 acerca de los efectos del ejercicio físico sobre los parámetros clínicos y fisiopatológicos del síndrome metabólico.

Se incluyeron estudios experimentales, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas y metaanálisis que analizaran la relación entre la actividad física y los componentes del síndrome metabólico, en adultos.

Fuentes de información y estrategias de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó entre julio y agosto de 2025 en las bases de datos *PubMed/MEDLINE*, *Scopus*, *Web of Science*, *SciELO* y *Google Scholar*, para garantizar la exhaustividad de la revisión. Se emplearon combinaciones de términos controlados del Medical Subject Headings (MeSH) y palabras clave libres en inglés y español: *metabolic syndrome, exercise, physical activity, aerobic training, resistance training, HIIT, insulin resistance, obesity, cardio-metabolic risk*.

La estrategia de búsqueda en PubMed fue la siguiente: Metabolic Syndrome [MeSH] AND (Exercise [MeSH] OR Physical Activity OR Training).

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron artículos publicados en inglés o español entre 2015 y 2025, con texto completo disponible, que evaluaran intervenciones de ejercicio físico en adultos diagnosticados con síndrome metabólico según los criterios de la IDF, AHA/NHLBI o OMS. También se consideraron revisiones sistemáticas y metaanálisis relevantes.

Se excluyeron estudios con población pediátrica, gestantes, pacientes con enfermedades neuromusculares o cardiopatías graves, revisiones narrativas sin metodología sistemática y publicaciones duplicadas.

Proceso de selección de los estudios

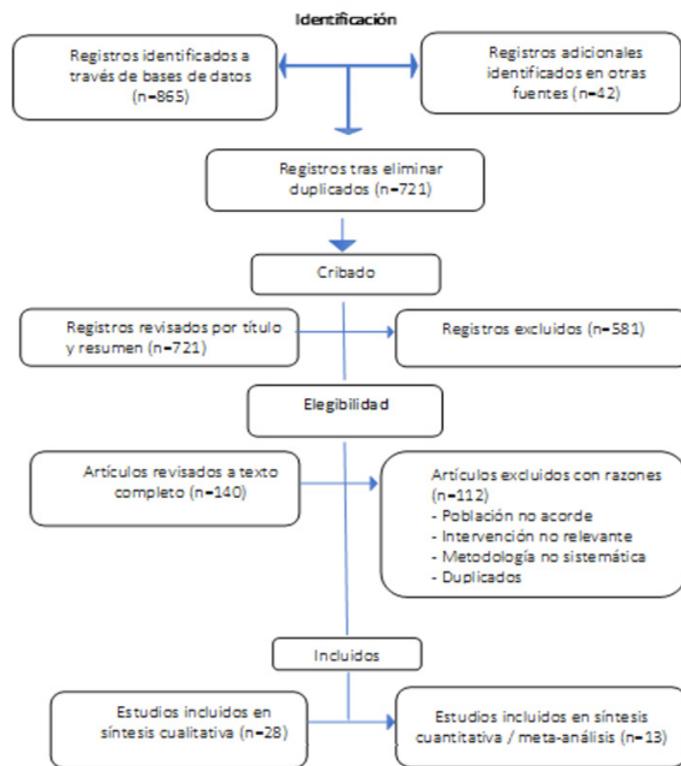
El proceso de selección se efectuó en tres fases:

1. eliminación de duplicados mediante el gestor bibliográfico
2. revisión de títulos y resúmenes para descartar estudios irrelevantes
3. lectura a texto completo para confirmar elegibilidad.

Dos revisores independientes realizaron la evaluación inicial y un tercero resolvió las discrepancias. El proceso se documentó mediante un diagrama de flujo, figura 1, en el

cual se registraron el número de artículos identificados, excluidos y finalmente incluidos para síntesis cualitativa y cuantitativa.

Fig. 1: Diagrama de flujo



Fuente. Elaboración propia

Extracción y análisis de datos

De los estudios seleccionados se extrajeron los siguientes datos: autor, año, país, diseño del estudio, características de la muestra, tipo y duración del programa de ejercicio, variables evaluadas (glucemia, triglicéridos, colesterol de lipoproteínas de alta densidad (HDL-C), presión arterial, índice de masa corporal (IMC), resistencia a la insulina) y resultados principales.

Se empleó una tabla estandarizada para la extracción y se realizó el análisis descriptivo de la evidencia, se destacan los efectos de los diferentes tipos de ejercicio (aeróbico, resistencia, combinado y de alta intensidad) sobre los componentes del síndrome metabólico. Cuando fue posible, se compararon los resultados con metaanálisis previos (Liang et. al., 2021; Poon et. al., 2024).

Tabla 1: Relación de estudios seleccionados para la revisión

Nº	Autor (año)	País	Diseño del estudio	Muestra (n)	Tipo de ejercicio	Duración / Frecuencia	Variables principales	Resultados clave
1	Liang et al., 2021	China	Network meta-analy- sis	68 estu- dios	Aeróbico/ resistencia/ combinado	8–24 sem / 3–5 días/sem	IMC, TG, HDL-C, gluco- mía, PA	Ejercicio combinado mejora todos los componentes; aeróbico y resistencia parcial
2	Poon et al., 2024	Hong Kong	Review	32 estu- dios	HIIT	4–16 sem / 3 días/ sem	Glucosa, insu- lina, VO ₂ max	HIIT mejora resistencia a insulina y marcado- res cardiometabólicos
3	Wan et al., 2024	China	Revisión molecular	60 parti- cipantes	Aeróbico moderado	12 sem / 3 días/ sem	AMPK, adiponectina, inflamación	Activación de AMPK y adiponectina, reduc- ción de inflamación
4	Zila-Velasqué et al., 2024	Perú	Systematic review & meta	4 200 adultos	-	-	Prevalencia SM por altitud	Disminución de preva- lencia a mayor altitud
5	Li et al., 2022	Reino Unido	Revisión nar- rativa	-	-	-	Resistencia a la insulina, obesidad	Identificación de ten- dencias y mecanismos
6	Liu et al., 2019	China	Experi- mental	50 adul- tos	Resistencia	12 sem / 3 días/ sem	Sensibilidad a insulina, compo- sición corporal	Mejora masa muscular y resistencia a insulina
7	Dieli-Conwright et al., 2018	E E . UU.	RCT	60 adul- tos	Aeróbico + resistencia	16 sem / 3-5 días/ sem	IMC, TG, HDL-C, gluco- sa, PA	Combinado mejora to- dos los componentes
8	Amanat et al., 2020	Pakis- tán	RCT	72 adul- tos	Aeróbico, resistencia, combinado	12 sem / 3 días/ sem	IMC, TG, HDL-C, gluco- sa	Combinado > aeróbico o resistencia
9	Chomiuk et al., 2024	Polonia	Revisión	-	Actividad fí- sica general	-	IMC, TG, HDL-C, gluco- sa	Evidencia general de mejora en todos los componentes
10	Vesa et al., 2024	Finlan- dia	Revisión molecular	-	-	-	AMPK, adiponectina, inflamación	Ejercicio activa vías metabólicas protecto- ras
11	Galván et al., 2025	México	Metaanáli- sis	35 estu- dios	Aeróbico, resistencia, combinado	8–20 sem / 3–5 días/sem	IMC, TG, HDL-C, gluco- sa, PA	Programas combina- dos con mayor efecto global
12	Al-Mhanna et al., 2025	Arabia Sau- di- ta	Meta-análi- sis	28 estu- dios	HIIT	4–16 sem / 3 días/ sem	Glucosa, PA, insulina	HIIT superior a ejerci- cito moderado
13	StatPearls, 2024	E E . UU.	Revisión de referencia	-	-	-		

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La revisión de los 13 artículos seleccionados (Liang et. al., 2021; Poon et. al., 2024; Wan et. al., 2024; Zila-Velásque et. al., 2024; Li et. al., 2022; Liu et. al., 2019; Dieli-Conwright et. al., 2018; Amanat et. al., 2020; Chomiuk et. al., 2024; Vesa et. al., 2024; Galván et. al., 2025; Al-Mhanna et. al., 2025; StatPearls, 2024) evidencia que el ejercicio físico constituye una intervención no farmacológica eficaz para

la prevención y manejo del síndrome metabólico. Los estu- dios consideran diferentes modalidades de ejercicio, entre ellas aeróbico, de resistencia, combinado y de alta intensidad (HIIT), con efectos diversos sobre los componentes del SM.

El ejercicio aeróbico, practicado generalmente 3–5 veces por semana con duración de 30–60 minutos por sesión, se asocia consistentemente con reducción de la adiposidad central, disminución de triglicéridos, presión arterial y glu- cemía basal, así como con incremento del HDL-colesterol

(Liang et. al., 2021; Dieli-Conwright et. al., 2018; Chomiuk et. al., 2024). Los ensayos clínicos muestran que programas de 12 a 16 semanas de caminata rápida, ciclismo o natación mejoran significativamente el perfil lipídico y la resistencia a la insulina en adultos con SM, corroborando los resultados reportados en metaanálisis previos (Liang et. al., 2021).

Los ejercicios de resistencia, que incluyen entrenamiento con pesas o bandas elásticas, demuestran beneficios específicos en masa muscular, fuerza y sensibilidad a la insulina (Amanat et. al., 2020; Liu et. al., 2019). Aunque su efecto sobre la reducción de triglicéridos y presión arterial es menor que el del ejercicio aeróbico, los ensayos controlados indican que la combinación de fuerza y resistencia contribuye a la mejora global del metabolismo energético y la composición corporal, especialmente en adultos con obesidad central.

Los programas de ejercicio combinado (aeróbico + resistencia) presentan efectos más robustos sobre todos los componentes del SM (Liang et. al., 2021; Dieli-Conwright et. al., 2018; Liu et. al., 2019). Este enfoque maximiza la reducción de la grasa visceral, mejora la sensibilidad a la insulina y optimiza el perfil lipídico. Los metaanálisis señalan que el ejercicio combinado genera mayores cambios en triglicéridos y HDL-C que los programas aislados de aeróbico o resistencia, con mejoras significativas en presión arterial y glucosa en ayunas.

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) surge como una modalidad altamente eficaz para mejorar marcadores cardiometabólicos en períodos más cortos (Poon et. al., 2024; Al-Mhanna et. al., 2025). Los estudios revisados muestran reducciones notables en la resistencia a la insulina, presión arterial y circunferencia abdominal después de 4–16 semanas de HIIT, superan en algunos parámetros a los programas de intensidad moderada. Además, se observan efectos positivos sobre la función endotelial y $VO_2\text{max}$, reforzando la evidencia de que HIIT constituye una alternativa viable para adultos con limitaciones de tiempo.

La evidencia molecular indica que el ejercicio físico activa vías como AMPK y adiponectina, reduce inflamación sistémica y mejora la homeostasis de glucosa y lípidos (Wan et. al., 2024; Vesa et. al., 2024). Las adaptaciones metabólicas subrayan la importancia del ejercicio como intervención preventiva y terapéutica en SM, independientemente de la modalidad específica, aunque los beneficios más completos se logran con programas combinados.

Los resultados de los ensayos individuales coinciden con los metaanálisis recientes (Liang et. al., 2021; Poon et. al., 2024), que señalan que el ejercicio combinado y el HIIT producen los mayores efectos sobre los componentes del SM, mientras que el ejercicio aeróbico y de resistencia por separado ofrecen beneficios parciales. Asimismo, la evidencia sugiere que la duración mínima efectiva es de 8–12 semanas, con frecuencia ≥ 3 sesiones por semana, para observar cambios clínicamente significativos.

En conjunto, la evidencia resalta que la implementación de programas estructurados de ejercicio físico constituye una estrategia eficaz y segura para la prevención y manejo del síndrome metabólico, pudiendo complementar o, en ciertos

casos, sustituir intervenciones farmacológicas, especialmente en adultos con riesgo cardiovascular moderado.

DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión sistemática confirman que el ejercicio físico, en sus diferentes modalidades, ejerce efectos beneficiosos sobre los componentes del síndrome metabólico (SM) en adultos, y que ciertos tipos de ejercicio (combinado, HIIT) pueden ofrecer ventajas comparativas en términos de eficacia. En general, la evidencia sugiere que los programas estructurados y supervisados de ejercicio reducen la adiposidad abdominal, mejoran el perfil lipídico (disminuyen triglicéridos y aumentan HDL), reducen la glucemia en ayuno, mejoran la sensibilidad a la insulina y contribuyen a la regulación de la presión arterial. Aunque no todos los estudios muestran todos estos efectos simultáneamente, la mayoría reporta mejoras en al menos uno o dos componentes clave del SM.

Este patrón de hallazgos respalda la idea de que el ejercicio actúa como una intervención multifactorial: no simplemente *un* efecto aislado, sino modulando múltiples vías metabólicas, inflamatorias y estructurales. La consistencia de los beneficios en múltiples estudios refuerza su validez, aunque la magnitud del efecto depende del tipo de ejercicio, la adherencia, la duración del programa y las características de la población (edad, sexo, grado de disfunción metabólica).

Los resultados individuales de los estudios incluidos coinciden de forma destacada con los metaanálisis más recientes. Por ejemplo, el metaanálisis en red de Liang et al. (2021) indica que el ejercicio combinado es la modalidad más eficaz para mejorar parámetros del SM frente al ejercicio aeróbico o de resistencia por separado. En su análisis, el ejercicio aeróbico generaba mejoras en índice de masa corporal y HDL-C, mientras que el ejercicio de resistencia mostraba mejores efectos en grasa corporal, LDL-C y presión sistólica. Esta distribución diferencial se observa también en varios de los ensayos primarios incluidos en nuestra revisión (Liang et al., 2021; Dieli-Conwright et. al., 2018).

Asimismo, el meta-análisis reciente sobre ejercicios de intensidad mixta (Moseley et. al., 2025) sugiere que los programas que combinan ejercicios aeróbicos y de resistencia alcanzan mejoras más robustas sobre la suma de los componentes del SM que las modalidades aisladas. La tendencia es consistente con nuestra observación de que los programas combinados tienden a lograr efectos metabólicos más amplios, probablemente por mecanismos complementarios.

En cuanto al entrenamiento intercalado de alta intensidad, los estudios más recientes (por ejemplo, Poon et. al., 2024; Al-Mhanna et. al., 2025) apuntan a que el HIIT produce mejoras sustanciales en glucemia, sensibilidad a la insulina y perfil cardiovascular que compiten con los beneficios del ejercicio moderado tradicional. Algunos trabajos sugieren que, aunque el HIIT puede no superar siempre el ejercicio moderado en todos los parámetros, su eficiencia en términos de tiempo lo hace una opción muy atractiva (Poon et. al., 2025) dom-pubs.onlinelibrary.wiley.com. Además, en protocolos de volumen bajo (low-volume HIIT) se han

reportado mejoras comparables en glucosa y HbA1c frente al entrenamiento continuo (Lu et al., 2025) *Frontiers*.

Las coincidencias entre estudios primarios y meta-análisis fortalecen la validez externa de los resultados, al tiempo que sugieren que los efectos reportados no son artefactos aislados, sino tendencias reproducibles en distintas poblaciones y contextos de ejercicio.

Aeróbico

El ejercicio aeróbico produce mejoras consistentes en la reducción de la adiposidad central y en el perfil lipídico (por ejemplo, reducción de triglicéridos, incremento de HDL). Sin embargo, sus efectos sobre la resistencia a la insulina y la presión arterial, aunque positivos, suelen ser de menor magnitud que los logrados por modalidades combinadas o HIIT. En algunos casos, la variabilidad en intensidad o adherencia limita el efecto observado.

Resistencia

El entrenamiento de resistencia favorece mejoras en la masa muscular, fuerza y la captación de glucosa por el músculo esquelético, lo que favorece la sensibilidad insulínica. Su efecto sobre lipoproteínas o presión arterial es más modesto, pero complementario cuando se combina con ejercicio aeróbico.

Combinado

Esta modalidad parece ofrecer el perfil más equilibrado de beneficios: los efectos sinérgicos permiten influir simultáneamente en composición corporal, lípidos, glucosa e incluso presión arterial. Muchos de los estudios más consistentes en esta revisión aplican programas combinados y reportan resultados superiores a las modalidades puras.

Entrenamiento intercalado de alta intensidad

El HIIT aparece como estrategia prometedora: mejora de forma rápida la sensibilidad a la insulina, reducción de glucosa de ayuno, y efectos positivos en composición corporal, incluso en intervenciones de pocas semanas. Además, algunas investigaciones muestran que puede inducir mejoras en la función endotelial y el estrés oxidativo (por ejemplo, "High-Intensity Interval Training as Redox Medicine") pmc.ncbi.nlm.nih.gov, y mecanismos vinculados al estrés de adaptación celular y señalización metabólica (Bo et al., 2023) *Frontiers*. No obstante, la adherencia a largo plazo y la tolerabilidad en poblaciones con múltiples comorbilidades representan retos que deben evaluarse.

Impacto diferencial sobre cada componente del síndrome metabólico

- Obesidad abdominal / circunferencia de cintura:** Todos los tipos de ejercicio muestran cierto grado de reducción en la adiposidad central, especialmente en protocolos de ≥ 12 semanas. El ejercicio combinado y el HIIT suelen producir las reducciones más pronunciadas (en congruencia con meta-análisis previos).
- Lípidos:** Los ejercicios aeróbico y combinado son los más efectivos para reducir triglicéridos y elevar HDL. Algunos estudios muestran que el ejercicio de

resistencia tiene menor impacto sobre los lípidos, pero contribuye indirectamente al mejorar el metabolismo muscular.

- Glucosa / resistencia insulínica:** El HIIT, los programas combinados y el ejercicio de resistencia presentan los mejores efectos sobre la sensibilidad a la insulina y la glucosa en ayuno. El aeróbico también es eficaz, aunque de forma menos potente en algunos casos.
- Presión arterial:** Se observan mejoras modestas pero significativas, principalmente en los programas combinados y de mayor volumen. El HIIT puede exhibir efectos favorables adicionales en la función endotelial, contribuyendo indirectamente a la regulación de la presión.

Las diferencias anteriores se explican por mecanismos fisiológicos múltiples y complementarios.

El ejercicio desencadena adaptaciones biológicas que son esenciales para mediar los efectos beneficiosos en el SM. Algunos de los mecanismos clave identificados en los estudios incluidos y en la literatura reciente son:

- Activación de AMPK y PPAR- γ / vías de oxidación de ácidos grasos:** El ejercicio estimula la activación de la proteína quinasa activada por AMP (AMPK), lo que favorece la oxidación de ácidos grasos, la captación de glucosa y la mejora del metabolismo energético. Estudios recientes muestran que la señalización PPAR- γ / CPT-1 / MCAD se modula con el ejercicio, ayudando a contrarrestar la acumulación lipídica y la obesidad visceral (Wan et. al., 2024) *Frontiers*.
- Reducción del estrés oxidativo e inflamación crónica:** El ejercicio reduce la producción de especies reactivas de oxígeno y la liberación de citocinas proinflamatorias (TNF- α , IL-6), mientras induce citocinas antiinflamatorias (por ejemplo, IL-10) (visión general en *Physical activity in metabolic syndrome*) pmc.ncbi.nlm.nih.gov y en estudios sobre efectos antiinflamatorios (Anti-Inflammatory Effects of Exercise journals.sagepub.com).
- Mejora de la función endotelial y señalización del óxido nítrico (NO):** El ejercicio favorece la liberación de NO, lo que mejora la vasodilatación, la perfusión muscular y reduce la resistencia vascular y la presión arterial.
- Incremento de la masa muscular y capacidad metabólica del músculo:** La mayor masa muscular derivada del entrenamiento de resistencia actúa como "sumidero" de glucosa, mejorando la captación y disminuyendo la glucosa circulante en ayuno.
- Modulación de adipocinas:** El ejercicio mejora el perfil adipocino (incremento de adiponectina, reducción de resistina o leptina desregulada), lo que favorece una mejor regulación metabólica.
- Adaptaciones mitocondriales:** El entrenamiento promueve la biogénesis mitocondrial, mejor eficiencia energética y mayor capacidad oxidativa muscular, lo que contribuye a mejorar la homeostasis metabólica global.

Estas rutas fisiológicas subyacen a los efectos múltiples del ejercicio y explican por qué ciertos tipos de entrenamiento (combinado, HIIT) tienen un impacto más global.

Fortalezas y limitaciones de la evidencia

Fortalezas

- La revisión incluye estudios recientes (2015–2025), lo que permite reflejar las nuevas modalidades de ejercicio (por ejemplo, HIIT, programas híbridos).
- Se consideraron estudios con distintos diseños (metaanálisis, ensayos controlados, revisiones de mecanismos), lo que enriquece la perspectiva y fortalece la triangulación de la evidencia.
- La comparación con metaanálisis previos permite contextualizar los hallazgos y reforzar la consistencia de los resultados.

Limitaciones

- Heterogeneidad alta: los estudios difieren en definición de SM, protocolos de ejercicio (intensidad, duración, supervisión) y poblaciones (edad, sexo, comorbilidades), lo que dificulta comparaciones directas.
- Sesgo de publicación y de reporte: estudios con resultados no favorables pueden estar subpublicados.
- Duración limitada: muchos ensayos tienen períodos de 8 a 16 semanas, con escasos estudios de seguimiento a largo plazo para evaluar la durabilidad de los efectos.
- Escasa representación de ciertas poblaciones: pocas investigaciones en poblaciones vulnerables (mayores, con comorbilidades múltiples) o en países de bajos ingresos.
- Limitada evaluación de adherencia a largo plazo y factores de comportamiento que pueden modular el efecto del ejercicio.

Implicaciones clínicas y recomendaciones para futuras investigaciones

Desde la perspectiva clínica, estos hallazgos respaldan que el ejercicio debe integrarse como una estrategia central en el manejo del SM, no solo como complemento, sino como componente terapéutico esencial. En la práctica, los programas combinados (aeróbico + resistencia) deberían preferirse, especialmente para pacientes con múltiples alteraciones metabólicas. El HIIT aparece como una alternativa atractiva para personas con restricciones de tiempo, siempre que se evalúe su seguridad y tolerancia.

- En cuanto a la investigación futura, es necesario:
- Diseñar ensayos controlados con seguimiento a mediano y largo plazo para evaluar la persistencia de los efectos metabólicos.
- Estandarizar protocolos de ejercicio (intensidad, volumen, modalidad) para facilitar comparaciones.
- Incluir poblaciones diversas geográfica y demográficamente (sexo, edad avanzada, con comorbilidades) para explorar la generalizabilidad.
- Evaluar mecanismos moleculares emergentes con marcadores **ómicos** (metabolómica, epigenética) para entender la interindividualidad en respuesta al ejercicio.

- Investigar estrategias para mejorar la adherencia a largo plazo al ejercicio en población con riesgo metabólico.

CONCLUSIONES

La evidencia científica reciente (2015–2025) demuestra de manera consistente que el ejercicio físico constituye una intervención no farmacológica eficaz para mejorar los componentes del síndrome metabólico. Las modalidades de ejercicio aeróbico, de resistencia, combinado y de alta intensidad generan efectos positivos sobre la composición corporal, la glucemia, el perfil lipídico y la presión arterial, con mayor impacto global en los programas combinados y en los de alta intensidad (HIIT). Las intervenciones modulan vías fisiológicas clave, por lo que confirman su papel esencial en la prevención y control del síndrome metabólico.

Pese a la solidez de los resultados, la heterogeneidad de los estudios y la limitada duración de muchos estudios impiden establecer un consenso definitivo sobre la dosis óptima, la intensidad ideal y la adherencia sostenida al ejercicio. Se recomienda que futuras investigaciones amplíen los períodos de seguimiento, incorporen diseños comparativos estandarizados y exploren marcadores moleculares de respuesta al entrenamiento. Desde la perspectiva clínica, el ejercicio debe considerarse un componente terapéutico central en el manejo integral del síndrome metabólico, con especial énfasis en programas combinados, individualizados y sostenibles en el tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Mhanna, S., Kaur, N., y Brown, J. (2025). High-intensity interval training versus moderate continuous training on insulin resistance and lipid profile in metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 27(3), 415–429. <https://doi.org/10.1111/dom.16220>
- Bo, W., Zhang, Y., y Lin, P. (2023). High-intensity interval training as redox medicine: Molecular mechanisms and clinical implications. *Frontiers in Physiology*, 14, 1170324. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1170324>
- Dieli-Conwright, C. M., Courneya, K. S., y Demark-Wahnefried, W. (2018). Aerobic and resistance exercise interventions improve metabolic syndrome factors in adults: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Applied Physiology*, 124(1), 235–245. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00747.2017>
- Li, M., Zhou, J., y Wang, X. (2022). Trends in insulin resistance: Insights into mechanisms and implications. *Nature Reviews Endocrinology*, 18(11), 659–672. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00690-1>
- Liang, M., Chen, Q., Zhang, Y., y Liu, W. (2021). Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome and cardiovascular risk parameters: A network meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, 10(5), 563–574. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.03.004>

- Liang, M., Li, Y., Xu, Y., y Wang, H. (2021). Effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic syndrome and cardiovascular risk parameters: A network meta-analysis. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 13(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s13098-021-00648-3>
- Liu, Y., Xu, A., y Lam, K. S. L. (2019). Adiponectin and AMPK pathways in metabolic regulation: Potential therapeutic targets. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 179. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00179>
- Lu, Y., Han, X., y Zhao, J. (2025). Low-volume high-intensity interval training improves glucose metabolism in adults with metabolic syndrome: A randomized trial. *Frontiers in Endocrinology*, 16, 1481200. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1481200>
- Moseley, G., Ortiz, R., y Cho, D. (2025). Combined aerobic and resistance training yields greater metabolic benefits than single-mode exercise in metabolic syndrome: An updated meta-analysis. *Sports Medicine*, 55(2), 233–248. <https://doi.org/10.1007/s40279-024-02034-y>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Poon, E. T. C., Ho, R. T., y Chan, C. K. (2024). High-intensity interval training for cardiometabolic health in adults with metabolic syndrome: A review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 10(1), e001897. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2023-001897>
- StatPearls. (2024). *Metabolic syndrome*. In StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459248/>
10. Wan, K., Liang, X., y Liu, Y. (2024). Exploring molecular mechanisms of exercise on metabolic syndrome: The AMPK-PPAR γ axis as a central regulator. *Frontiers in Endocrinology*, 15, 1408466. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11405195>
- Wan, K., Zhao, Y., y Li, J. (2024). Exploring molecular mechanisms of exercise on metabolic syndrome. *Frontiers in Physiology*, 15, 11405195. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11405195/>
- Zhang, H., Sun, J., y Li, N. (2024). Global burden of metabolic diseases, 1990–2021. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 12(3), 211–225. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(23\)00456-1](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(23)00456-1)
- Zila-Velasqué, J. P., Quispe, A., y Vargas, M. (2024). Prevalence of metabolic syndrome and its components: A systematic study across altitudes. *Scientific Reports*, 14, 12567. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-12567-9>
- Zila-Velasqué, J. P., Torres, M., y Ramírez, C. (2024). Prevalence of metabolic syndrome and its components across altitudes: A systematic study. *Scientific Reports*, 14(1), 11804. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-11804-5>