

© 2026 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 29: 1-16, 2026.

<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2026.828>

Nutribióticos y farmabióticos: efectos asociados a la modulación de la composición corporal

Carlos Alonso Salas-Ramírez¹, Martha Rocío Moreno-Jiménez^{1*}, Nuria Elizabeth Rocha-Guzmán¹,
José Alberto Gallegos-Infante¹, Manuel Efraín González-Mercado²,
Rubén Francisco González-Laredo¹ y Karen Marlenne Herrera-Rocha¹

¹Tecnológico Nacional de México/ I.T. de Durango (TecNM/ITD), Laboratorio Nacional CONAHCYT de Apoyo a la Evaluación de Productos Bióticos (LANAEPBI), Unidad de Servicio Tecnológico Nacional de México/I.T. de Durango, Blvd. Felipe Pescador # 1830 Oriente, 34080, Durango, Dgo., México. ²Universidad Juárez del Edo. de Durango (UJED), Facultad de Ciencias de la Cultura Física y Deporte (FCCF y D), Lic. Héctor García Calderón s/n, Fracc. SARH, 34113, Durango, Dgo., México. E-mail: *mrmoreno@itdurango.edu.mx

RESUMEN

La composición corporal es un determinante crítico de la salud metabólica y funcional, cuya regulación depende de la interacción dinámica entre la homeostasis energética, la inflamación sistémica y la integridad de la barrera intestinal. En este contexto, la microbiota intestinal es un eje fisiopatológico que modula la partición energética, el metabolismo de nutrientes, la sensibilidad a la insulina, y la distribución de la masa grasa y magra. La presente revisión analiza el papel de los nutribióticos y farmabióticos en la modulación de la composición corporal al integrar los mecanismos fisiometabólicos, los procesos inflamatorios y las rutas energéticas con implicación clínica actual y futura. Desde una perspectiva funcional, los nutribióticos favorecen la biotransformación de los sustratos dietarios, la biodisponibilidad de nutrientes y la regulación metabólica de los macro y micronutrientes, lo que contribuye a la homeostasis energética y al mantenimiento del tejido muscular. En contraste, los farmabióticos ejercen efectos bioterapéuticos mediante la modulación inmunometabólica, la producción de postbióticos en particular los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), y el fortalecimiento de la barrera intestinal, procesos asociados con la reducción de la endotoxemia y la inflamación de bajo grado. La evidencia sugiere que estas intervenciones reprograman rutas metabólicas relacionadas con la lipogénesis, la señalización insulínica, y la síntesis proteica favoreciendo las modificaciones en los compartimentos corporales. No obstante, lo heterogéneo de los hallazgos limita su integración mecanística y su aplicación clínica. En conjunto, nutribióticos y farmabióticos se perfilan como herramientas prometedoras para el tratamiento de la obesidad, la sarcopenia y el síndrome metabólico; sin embargo, su incorporación terapéutica exige ensayos clínicos robustos, biomarcadores estandarizados y marcos regulatorios que garanticen seguridad y reproducibilidad para su implementación en la práctica clínica.

Palabras clave: nutribióticos, farmabióticos, composición corporal, microbiota intestinal, postbióticos, inflamación.

Nutribiotics and pharmabiotics: effects associated with the modulation of body composition

ABSTRACT

Body composition is a critical determinant of metabolic and functional health, whose regulation depends on the dynamic interaction among energy homeostasis, systemic inflammation, and intestinal barrier integrity. In this context, the gut microbiota constitutes a pathophysiological axis that modulates energy partitioning, nutrient metabolism, insulin sensitivity, and the distribution of fat and lean mass. This review examines the role of probiotics and pharmabiotics in the modulation of body composition, integrating physiometabolic mechanisms, inflammatory processes, and energy pathways with current and future clinical implications.

From a functional perspective, probiotics promote the biotransformation of dietary substrates, nutrient bioavailability, and the metabolic regulation of macro and micronutrients, thereby contributing to energy homeostasis and the maintenance of muscle tissue. In contrast, pharmabiotics exert biotherapeutic effects through immunometabolic modulation, the production of postbiotics, particularly short-chain fatty acids (SCFAs), and the strengthening of the intestinal barrier, processes associated with reduced endotoxemia and low-grade inflammation.

The evidence suggests that these interventions may reprogram metabolic pathways related to lipogenesis, insulin signaling, and protein synthesis, thereby favoring modifications in body compartments. However, the heterogeneity of findings limits their mechanistic integration and clinical applicability. Overall, probiotics and pharmabiotics are emerging as promising tools for the treatment of obesity, sarcopenia, and metabolic syndrome; nevertheless, their therapeutic incorporation requires robust clinical trials, standardized biomarkers, and regulatory frameworks that ensure safety and reproducibility in clinical practice.

Keywords: probiotics, pharmabiotics, body composition, gut microbiota, postbiotics, inflammation.

Artículo recibido el 06 de febrero del 2025.

Artículo aceptado el 14 de agosto del 2026.

INTRODUCCIÓN

La composición corporal representa un determinante central del estado metabólico y funcional del organismo, debido a que la distribución relativa de la masa grasa y libre de grasa se asocia con el riesgo cardiometabólico, inflamación crónica de bajo grado y un deterioro funcional musculoesquelético. En consecuencia, su modulación se ha consolidado como un objetivo prioritario en estrategias preventivas y terapéuticas orientadas a la salud metabólica (Campa, Toselli, Mazzilli, Gobbo & Coratella, 2021).

En los últimos años, la regulación de la composición corporal dejó de entenderse sólo desde un enfoque antropométrico, por evolucionar hacia un modelo integrador que reconoce la participación de múltiples sistemas fisiológicos. Entre estos sistemas, la microbiota intestinal se ha establecido como un modulador clave de la homeostasis energética, del metabolismo de nutrientes y de la integridad de la barrera epitelial. Estos efectos influyen en los procesos inflamatorios y metabólicos asociados con la adiposidad y la función muscular (Caní, 2018). La disrupción de la microbiota intestinal favorece los estados de endotoxemia metabólica, resistencia a la insulina y partición energética disfuncional, fenómenos que contribuyen a la expansión del tejido adiposo y al deterioro de la masa magra. Dentro de este marco fisiopatológico, los metabolitos derivados de la microbiota, en particular los ácidos grasos de cadena corta (AGCC) actúan como mediadores críticos entre la barrera intestinal y la regulación de la composición corporal, para reforzar la noción de que la interacción entre el intestino y el huésped constituye un eje terapéutico potencial (Qassab *et al.*, 2026). En consecuencia, las estrategias dirigidas a modular la microbiota intestinal han adquirido un interés creciente. Entre ellas destacan los probióticos, definidos como microorganismos vivos que, administrados en cantidades adecuadas, confieren beneficios a la salud del huésped (Oudat & Okour, 2025). Desde una perspectiva funcional, estos microorganismos se clasifican en nutribióticos y farmabióticos: los primeros se relacionan con efectos sobre el estado nutricional mediante la biotransformación de sustratos dietarios y la biodisponibilidad de nutrientes, y los segundos se caracterizan por su potencial bioterapéutico y su capacidad para modular rutas inmunometabólicas relevantes (Rabbani *et al.*, 2025; Bock, Martins & Schaan, 2024). A pesar de la creciente cantidad de datos como evidencia, los hallazgos permanecen fragmentados entre estudios mecanísticos, ensayos clínicos y revisiones centradas en los probióticos de manera general, lo que limita la integración conceptual necesaria para comprender cómo estas intervenciones influyen en los compartimentos corporales. Por ello, el objetivo de la presente revisión es analizar la información disponible sobre el papel de los nutribióticos y farmabióticos en la modulación de la composición corporal, los mecanismos fisiometabólicos, sus efectos sobre la inflamación, el metabolismo energético y sus implicaciones clínicas en la actualidad y en el futuro.

METODOLOGÍA DE LA REVISIÓN

La presente revisión, se encuentra centrada en el papel de los nutribióticos y los farmabióticos en la modulación de la composición corporal. Se llevó a cabo una búsqueda estructurada en PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, referencias bibliográficas y citaciones en artículos sin restricción del idioma. Se otorgó prioridad a publicaciones comprendidas entre 2024 y 2025 con el propósito de capturar el estado del arte; asimismo, se incorporaron referencias de contribuciones seminales, documentos de consenso, o estudios fundacionales para sustentar las definiciones, marcos conceptuales y los mecanismos biológicos aceptados.

En la estrategia de búsqueda se aplicaron términos y combinaciones con operadores booleanos asociados a probióticos, nutribióticos, farmabióticos y postbióticos, microbiota intestinal, composición corporal, adiposidad, masa libre de grasa, inflamación, integridad de la barrera intestinal y resistencia a la insulina; esto mediante ecuaciones de búsqueda estructuradas con los operadores AND y OR; también se consideró lo siguiente: [(probióticos OR nutribióticos OR farmabióticos OR postbióticos) AND (composición corporal OR adiposidad OR masa grasa OR masa libre de grasa) AND (microbiota intestinal OR microbiota del intestino)]. Se incluyeron sólo los siguientes trabajos revisados por pares: ensayos clínicos, estudios observacionales pertinentes, revisiones sistemáticas, metaanálisis y estudios que aportaran evidencia biológica, relacionada con la composición corporal o con las vías fisiometabólicas vinculadas.

El proceso de selección se realizó con un cribado inicial de títulos, resúmenes y evaluación del texto completo acorde con el tema de este trabajo de revisión. La inclusión final de los estudios se basó en su pertinencia, su solidez conceptual y su contribución al entendimiento del fenómeno estudiado. En síntesis la información recabada se organizó en: las rutas implicadas en el metabolismo de los macro y micronutrientes; los procesos de modulación inflamatoria y la función de la barrera intestinal; la sensibilidad a la insulina y la señalización hormonal de origen intestinal; finalmente los efectos potenciales sobre los compartimentos de la masa muscular y grasa. No se realizó metaanálisis debido a la heterogeneidad conceptual y metodológica de los estudios incluidos.

COMPOSICIÓN CORPORAL HUMANA Y SUS FACTORES ASOCIADOS A LA SALUD METABÓLICA

La composición corporal es un determinante crítico para mantener un estado de salud general y un óptimo rendimiento antropométrico en el ámbito deportivo. Se conceptualiza como la cuantificación *in vivo* de los componentes corporales de masa magra, grasa, y ósea, así como la relación de estos y las variaciones ante factores biológicos y ambientales. En la práctica clínica y en la investigación, su interpretación se fundamenta

en modelos compartimentales de creciente complejidad, desde el modelo bicompartimental que distingue entre masa grasa y libre de grasa hasta los modelos multicompartimentales de tres o cuatro componentes, que minimizan los sesgos derivados de las variables de hidratación, contenido mineral óseo y densidad de la masa magra (Campa *et al.*, 2021). Los métodos de mayor relevancia incluyen la antropometría, la bioimpedancia eléctrica y la absorciometría dual de rayos X. La antropometría se distingue por su accesibilidad, aunque su precisión depende de la competencia técnica y de las ecuaciones poblacionales empleadas (Kasper *et al.*, 2021). La bioimpedancia eléctrica ofrece una estimación rápida y no invasiva, pero su fiabilidad es sensible al estado de hidratación y al ejercicio reciente (Pareja *et al.*, 2022). En contraste, la absorciometría dual de rayos X se considera el método de referencia por su capacidad para diferenciar tejido graso, magro y óseo a nivel regional y total, pese a requerir estricta estandarización técnica y conllevar mínima exposición a radiación (Messina *et al.*, 2020). En consecuencia, resulta imperativo que los reportes científicos detallen el método empleado y las unidades de los compartimentos evaluados para garantizar la validez externa de los hallazgos (Campa *et al.*, 2021).

Más allá de su cuantificación, la interacción entre masa grasa, tejido muscular y densidad ósea está determinada por procesos fisiológicos que regulan la partición energética y la homeostasis metabólica. Entre ellos la resistencia a la insulina, el estrés oxidativo y la inflamación crónica de bajo grado, reconocidos como moduladores críticos de la distribución corporal. Estudios recientes respaldan que estos mediadores se encuentran relacionados a la actividad funcional y a la diversidad de la microbiota intestinal, que participa en la regulación de la homeostasis energética, en el metabolismo de nutrientes y en la integridad tisular a través de una compleja red de señalización entre el intestino y el huésped (Fan & Pedersen, 2021). La salud intestinal y la composición corporal están interconectadas por interacciones que involucran a la microbiota, el sistema inmunológico y el metabolismo del huésped, respaldando una relación causal entre el perfil microbiano intestinal y los fenotipos de adiposidad (Almeida *et al.*, 2019). En este contexto, la integridad intestinal representa la competencia estructural y funcional de la barrera epitelial, mientras que la permeabilidad constituye un indicador dinámico de su estado fisiológico.

La disrupción de la barrera intestinal se asocia con alteraciones en proteínas de unión estrecha, como la ocludina y la claudina-1, que facilitan la translocación de antígenos lumenales, incluidos lipopolisacáridos, peptidoglucanos y otros patrones moleculares microbianos. Este fenómeno conduce a la endotoxemia metabólica, caracterizada por la activación de los receptores tipo Toll (TLR4) y la inducción de una cascada inflamatoria de bajo grado mediada por las citocinas TNF- α , IL-6 e IL-1 β , lo que compromete la señalización insulínica y favorece la adiposidad visceral (Tilg, Zmora, Adolph & Elinav, 2020). Diversos modelos

experimentales han confirmado que la exposición sostenida a lipopolisacáridos induce a una ganancia ponderal, a la expansión del tejido adiposo y a un estado de insulinoresistencia, que consolida el papel causal de la señalización endotóxica en la alteración de la composición corporal (Wang *et al.*, 2024). Asimismo, la endotoxemia, la oxidación de los ácidos grasos y el metabolismo energético, promueven la disfunción de los adipocitos (Clemente-Postigo, Beltrán-Debón, Murri, Menacho-Román & Tinahones, 2019).

En humanos, la proteína de unión a lipopolisacáridos (LBP, por sus siglas en inglés) está asociada con la obesidad y la adiposidad central, además de correlacionarse positivamente con la grasa visceral e inversamente con la masa del músculo esquelético. Estos hallazgos sugieren una relación inmunometabólica entre el intestino y el músculo esquelético (Fuke *et al.*, 2023). Estudios prospectivos identifican a la LBP como predictor independiente del síndrome metabólico, e indican que la endotoxemia antecede al deterioro metabólico (Tomooka *et al.*, 2022). La integridad de la barrera intestinal también condiciona la absorción y el destino metabólico de los nutrientes, al modular el balance energético y la distribución corporal (Jamar, Satamarina, Dias, Masquío, De Rosso & Pisani, 2018). En adultos con sobrepeso u obesidad, la reducción de la masa grasa se asocia con los cambios en la zonulina sérica, esto sugiere que la restauración de la barrera acompaña modificaciones cuantificables en la adiposidad (Stenman *et al.*, 2016). Los estudios establecen asociaciones entre la zonulina elevada y la obesidad en las poblaciones pediátrica y adulta (Kume *et al.*, 2016; Ohlsson, Orho-Melander & Nilsson, 2017). Estudios recientes indican que la pérdida de la homeostasis epitelial facilita el flujo de los agonistas inflamatorios hacia el tejido adiposo visceral y promueve la hipertrofia adipocitaria e infiltración de macrófagos (Riedel, Pheiffer, Johnson, Louw & Muller, 2022). En conjunto, la disfunción de la barrera intestinal se reconoce como un determinante fisiopatológico clave en la expansión del tejido adiposo visceral y en la resistencia a la insulina (Portincasa *et al.*, 2022; Di Vincenzo, Del Gaudio, Petito, Lopetuso & Scaldaferrì, 2024). En este contexto, los metabolitos que derivan de la microbiota actúan como moduladores de la integridad epitelial y la homeostasis metabólica. Entre estos, los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el acetato, el propionato y el butirato, cuya función es actuar como sustratos energéticos y moléculas de señalización inmunometabólica, para fortalecer la barrera intestinal mediante la estimulación de las proteínas de unión estrecha, la producción de mucina y la regulación de respuestas inflamatorias. Estos metabolitos son además reguladores del apetito, el gasto energético y el metabolismo lipídico (Nogal, Valdes & Menni, 2021). En los humanos con sobrepeso, el propionato se asoció con la prevención de la ganancia de peso y menor adiposidad (Chambers *et al.*, 2015). En tanto que en modelos murinos el butirato atenúa la ganancia ponderal y la resistencia a la insulina al activar la señalización de adiponectina y mejorar la función mitocondrial (Hong

et al., 2016). Asimismo, se ha establecido que en pacientes con obesidad y diabetes tipo 2 los niveles sistémicos de propionato y butirato se correlacionan negativamente con el porcentaje de grasa corporal, el área de grasa visceral y el índice de masa corporal (Zhang *et al.*, 2024). Por otra parte, a ambos metabolitos se les vincula con la modulación de la lipogénesis hepática y de la sensibilidad a la insulina (Chambers, Preston, Frost & Morrison, 2018). Los resultados obtenidos del estudio PREDICT-1 muestran que la composición del microbioma intestinal se asocia con la grasa visceral a diferencia del índice de masa corporal. En particular, la abundancia de las bacterias butirógenas como *Faecalibacterium prausnitzii* se le relaciona con un perfil metabólico más saludable y menor adiposidad central, respaldando la interconexión funcional de la microbiota intestinal con el tejido adiposo (Asnicar *et al.*, 2021). En conjunto, la evidencia posiciona a la integridad intestinal como un nodo fisiopatológico con la capacidad de coordinar señales inflamatorias y metabólicas que reprograman la partición energética del huésped. Dentro de este marco, los ácidos grasos de cadena corta se consolidan como mediadores críticos entre la barrera intestinal y la regulación de la composición corporal. Este marco fisiopatológico adquiere especial relevancia al considerar las intervenciones dirigidas a modular la microbiota intestinal, como los nutribióticos y los farmabióticos, que se perfilan como estrategias prometedoras para modular estos mecanismos regulatorios y favorecer cambios en la composición corporal.

NUTRIBIÓTICOS Y FARMABIÓTICOS MODULADORES DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

La modulación dirigida de la microbiota intestinal es una potencial estrategia para incidir en los determinantes metabólicos de la composición corporal. Entre las intervenciones bióticas con mayor potencial modulador están los probióticos a los que se les atribuyen beneficios para la salud del huésped (Oudat & Okour, 2025). Estos microorganismos participan activamente en el metabolismo de los micronutrientes, entre estos: las vitaminas hidrosolubles, los minerales y la generación de compuestos energéticos derivados de la fermentación de sustratos no digeribles, en particular la fibra dietética (Ranjha *et al.*, 2021). Desde una perspectiva funcional, los probióticos se clasifican en: nutribióticos y farmabióticos en función de la naturaleza de sus efectos biológicos sobre el huésped (Figura 1). Los nutribióticos son microorganismos con atributos predominantemente nutricionales, asociados con la extracción de energía a partir de componentes dietéticos no digeribles, la síntesis de vitaminas y el metabolismo de minerales como hierro, calcio y magnesio (Rabbani *et al.*, 2025; Arora & Baldi, 2015). En contraste, los farmabióticos son células bacterianas con actividad farmacológica demostrada en la salud o la enfermedad cuyos mecanismos incluyen la modulación de patógenos, la regulación del estado inflamatorio por estímulo de inmunoglobulinas como IgA, y citocinas antiinflamatorias como interleucina 10 (IL-10), la producción de postbióticos entre

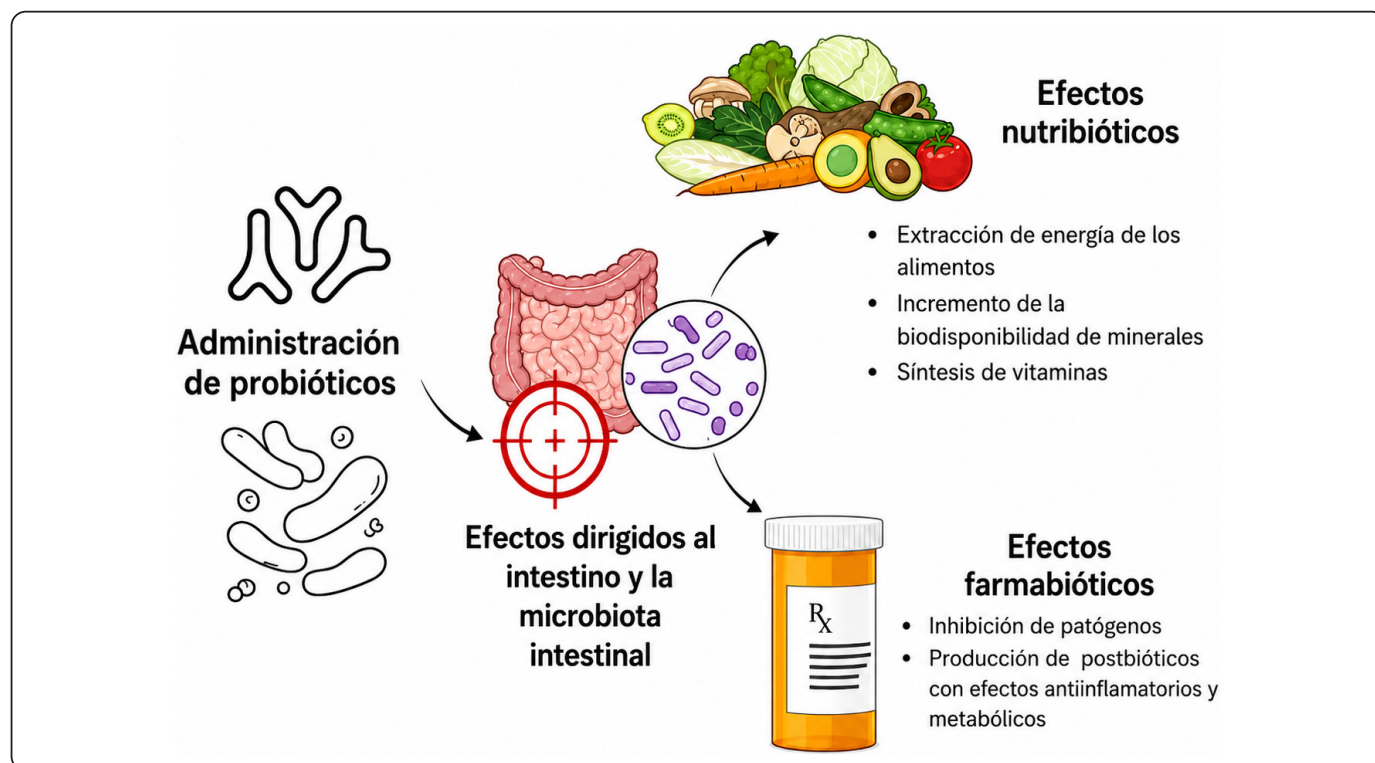


Figura 1. Clasificación de los probióticos en nutribióticos y farmabióticos de acuerdo con sus mecanismos de acción a nivel intestinal. Elaboración de la Figura creatividad personal.

ellos AGCC y el mantenimiento de la integridad de la barrera muco intestinal (Bock *et al.*, 2024). La eficacia terapéutica de los nutribióticos y farmabióticos depende, en gran medida de la dosis administrada, por ejemplo, el consumo diario de probióticos entre 1×10^6 y 1×10^{10} UFC es en general benéfico (Rasaei *et al.*, 2024). En lo que se refiere a las alteraciones metabólicas y a la composición corporal, en la obesidad, se proponen dosis cercanas a 3.24×10^8 UFC/día (ODS, 2023), sin embargo, la respuesta biológica a estas intervenciones no es uniforme, ya que varía en función de la cepa específica empleada, la duración de la intervención y la matriz de administración ya sea en forma de suplemento o de alimento funcional. Un mecanismo descrito es la modulación de patógenos por medio de la producción de compuestos antimicrobianos y el refuerzo de la integridad de barrera, lo que contribuye al restablecimiento de la eubiosis y a la reducción de la endotoxemia e inflamación de bajo grado (Latif *et al.*, 2023). En conjunto, estas propiedades posicionan a los nutribióticos y farmabióticos como herramientas biológicas capaces de interactuar con rutas inmunometabólicas clave implicadas en la regulación de la composición corporal.

MODULACIÓN DEL METABOLISMO DE MACRO Y MICRONUTRIENTES POR NUTRIBIÓTICOS Y FARMABIÓTICOS

La capacidad de influencia de los nutribióticos y farmabióticos sobre la composición corporal se sustenta en su interacción con las rutas centrales del metabolismo de los macro y micronutrientes que participan activamente en la biotransformación de los sustratos dietéticos, modulando su biodisponibilidad, su aprovechamiento energético y su destino metabólico.

Como resultado, contribuyen a alterar procesos relacionados con la homeostasis energética, el almacenamiento lipídico y el mantenimiento de la masa muscular, posicionándose como reguladores del fenotipo metabólico del huésped.

EFFECTO DE LOS NUTRIBIÓTICOS Y LOS FARMABIÓTICOS SOBRE EL METABOLISMO ENERGÉTICO: CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS

La regulación del metabolismo de los macronutrientes constituye uno de los determinantes fisiológicos más relevantes de la composición corporal, al influir sobre la disponibilidad de los sustratos energéticos y la partición de nutrientes. En este contexto los nutribióticos y los farmabióticos interactúan en los procesos digestivos y metabólicos que condicionan el balance energético.

Diversos nutribióticos tienen la capacidad de producir enzimas que facilitan la descomposición de los carbohidratos complejos. Por ejemplo, algunas cepas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* producen α -galactosidasa, una enzima que ayuda a descomponer los oligosacáridos complejos (O'Connell *et al.*, 2013). Esta actividad enzimática adicional mejora la digestión de los carbohidratos que de otro modo serían difíciles de procesar para el sistema digestivo humano. Adicionalmente, los nutribióticos

influyen en la expresión de transportadores de glucosa en el intestino. Estudios realizados por Kumar *et al.* (2012) demostraron que la administración de *Lactobacillus plantarum* aumentó la expresión del transportador de glucosa GLUT2 en el intestino delgado de ratas diabéticas, lo que resultó en una mejor absorción de este monosacárido.

Los probióticos son cruciales en la fermentación de fibras dietéticas, al producir los AGCC acetato, propionato y butirato, que son metabolitos clave para mantener la salud intestinal (Holscher, 2017). Es importante citar al butirato que es un combustible metabólico para los colonocitos, asimismo los otros AGCC se integran al metabolismo energético al ser absorbidos y actuar sobre los receptores acoplados a las proteínas de membrana (GPR41/GPR43) con efectos sobre la acumulación de lípidos en el tejido adiposo, o la producción de insulina en el páncreas (Martin-Gallausiaux, Marinelli, Blottiere, Larraufie & Lapaque, 2020).

Los nutribióticos modulan el metabolismo lipídico al bloquear la síntesis de colesterol hepático y promover la degradación de los ácidos biliares en el intestino, lo que promueve una disminución de su concentración en la sangre (Zhao *et al.*, 2017). Otros estudios indican que los nutribióticos asimilan el colesterol y lo utilizan para reforzar su membrana celular (Pawar, Dhawal, Nabar, Barve & Zambare, 2022; Kumar, Grover & Batish, 2010). De esta manera, diversos nutribióticos y farmabióticos tienen potenciales efectos sobre la composición corporal descritos en la Tabla I, estos se relacionan con su impacto en el estatus metabólico energético relacionado con la acumulación de grasa y masa muscular.

NUTRIBIÓTICOS EN LA DIGESTIBILIDAD Y ASIMILACIÓN DE PROTEÍNAS

Los probióticos participan en mejorar la digestión y absorción de proteínas mediante la secreción de enzimas proteolíticas, las cuales descomponen las proteínas en aminoácidos y permiten que sean absorbidos en el intestino delgado para la regeneración muscular y otros procesos fisiológicos (Wang & Ji, 2018). En este sentido, es necesaria la homeostasis en la microbiota intestinal. Los estudios indican que especies de nutribióticos ayudan a reducir la producción de compuestos tóxicos derivados de la descomposición proteica en el intestino, al favorecer una mejor utilización de los aminoácidos y reducir los efectos secundarios negativos (Peng, Nie, Guan, Qiao, Lu & Cao, 2020); también algunos nutribióticos poseen la capacidad de producir enzimas proteolíticas de manera exógena, lo que ayuda a la degradación de las proteínas mediante el complemento de la actividad enzimática del huésped y favorecer una mayor eficiencia del proceso digestivo. Entre estos microorganismos destacan las cepas de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, que producen peptidasas y proteasas para hidrolizar a las proteínas en péptidos y aminoácidos (Pessione & Cirrincione, 2016). Asimismo, los nutribióticos tienen el potencial de sintetizar

Tabla I. Efectos de los nutribióticos y farmabióticos sobre el metabolismo energético, regulación de la acumulación de tejido adiposo y masa muscular

Cepa	Clasificación	Efecto	Referencias
<i>A. muciniphila</i>	Nutribiótico	La administración de 1.5×10^{10} UFC/día mejora el metabolismo de degradación de los ácidos biliares a nivel intestinal	Wu <i>et al.</i> (2023)
	Farmabiótico	La administración dosis de 4×10^9 UFC/día mejoró en la función de las células beta pancreáticas mediadas por TLR2 y TLR4	Yan <i>et al.</i> (2024)
<i>L. rhamnosus</i> JL1	Farmabiótico	La administración de 1.44×10^9 UFC mejoró en el metabolismo de la glucosa a través del incremento de los niveles de GLP-1.	Niu, Zhou, Ji, Zogona, Wu & Xu (2024)
	Farmabiótico	La administración de 1×10^9 UFC/día redujo el peso corporal, el colesterol total, los triglicéridos y el cLDL por activación de la vía AMPK	Yang <i>et al.</i> (2021)
<i>B. animalis</i>	Farmabiótico	La administración de 1×10^9 UFC/día disminuyó la acumulación de grasa corporal, mejoró la tolerancia a la glucosa e incrementó la oxidación de los ácidos grasos.	Horiuchi <i>et al.</i> (2020)
<i>B. animalis</i>	Nutribiótico	La administración de una dosis de 1×10^9 UFC/día mejoró el metabolismo lipídico al aumentar la síntesis de ácidos grasos de cadena corta e insaturados, y disminuyó la síntesis de ácidos biliares.	Li <i>et al.</i> (2023)
<i>L. plantarum</i>	Nutribiótico y Farmabiótico	La administración de 2.05×10^9 UFC favoreció el metabolismo proteico y la recuperación tras el ejercicio, redujo los niveles de lactato, amoníaco, creatina quinasa y nitrógeno ureico en la sangre.	Yeh <i>et al.</i> (2022)
	Farmabiótico	La administración de 2.05×10^9 y 1.03×10^{10} UFC/kg/día disminuyó los niveles de lactato, nitrógeno ureico en la sangre (BUN), el amoníaco y la creatina quinasa (CK) posterior a la actividad física.	Lee <i>et al.</i> (2021)

aminoácidos esenciales y no esenciales, ejemplo de ello, *Lactobacillus plantarum* que produce aminoácidos de cadena ramificada (BCAAs) como leucina, isoleucina y valina (Yadav, Puniya & Shukla, 2016).

NUTRIBIÓTICOS Y FARMABIÓTICOS CON EFECTOS TERAPÉUTICOS ASOCIADOS A LA COMPOSICIÓN CORPORAL

El estudio de la composición corporal es fundamental para la evaluación de las reservas corporales y, por tanto, del estado de nutrición, por lo que destaca la asociación que guardan las proporciones de estos componentes con el estado de salud e incluso del riesgo cardiometabólico (Santanasto *et al.*, 2016). Si bien existen diversos factores con influencia en la composición corporal, siendo los principales el tipo de dieta y la realización de actividad física, es importante mencionar la influencia de la microbiota intestinal como eje modulador de distintos mecanismos asociados a la composición tisular (O'Donoghue, Cunningham, Lennon & Perrotta, 2020). Estos mecanismos incluyen la inflamación intestinal y sistémica, así como la modulación del metabolismo energético a través del estímulo de receptores por parte de postbióticos como los AGCC (Sergeev, Aljutaily, Walton & Huarte, 2020).

La alteración de la microbiota intestinal o disbiosis intestinal se asocia con cambios significativos en la composición corporal, caracterizados por una reducción en la diversidad microbiana y un incremento en la relación *Firmicutes/Bacteroidetes*. Este perfil se relaciona directamente con el aumento de masa grasa, circunferencia de cintura y adiposidad troncal (Augustynowicz *et al.*, 2025; Komodromou *et al.*, 2024). En humanos, la baja riqueza del microbioma se correlaciona con un perfil metabólico desfavorable y mayor adiposidad, validando la relevancia clínica de la disbiosis como marcador de riesgo (Le Chatelier *et al.*, 2013). Esta relación causal se ve reforzada por evidencia experimental en modelos de trasplante fecal en gemelas discordantes donde la microbiota del donante obeso indujo un fenotipo con mayor masa y adiposidad en ratones receptores, fortaleciendo la noción de que ciertos componentes microbianos transmiten rasgos de composición corporal (Ridaura *et al.*, 2013). Por el contrario, los individuos con mayor proporción de masa magra y los atletas exhiben una mayor abundancia de *Bacteroidetes* y géneros como *Akkermansia*, esto sugiere que la riqueza génica microbiana es un factor protector frente a la inflamación de bajo grado y la resistencia a la insulina (Aron-Wisniewsky *et al.*, 2019; Fan & Pedersen, 2021).

Desde una perspectiva mecanística, estas alteraciones impulsan un cambio hacia un perfil metabólico desfavorable donde la comunicación entre la microbiota intestinal y el huésped favorece el almacenamiento lipídico sobre la homeostasis de la masa libre de grasa. Los procesos subyacentes inician con una síntesis reducida de AGCC, cuya deficiencia compromete la integridad de la barrera intestinal. Esta disfunción de la barrera facilita la translocación de endotoxinas bacterianas como los lipopolisacáridos (LPS) a la circulación sistémica lo que genera endotoxemia metabólica, que está estrechamente asociada con la inflamación de bajo grado y la resistencia a la insulina (Candelli *et al.*, 2021; Saad, Santos & Prada, 2016). A su vez, estos procesos inflamatorios promueven la lipogénesis y el desarrollo de inflamación en el tejido adiposo (Fan & Pedersen, 2021).

Frente a este escenario fisiopatológico, la administración de nutribióticos y farmabióticos tiene efectos potenciales sobre la composición corporal al restaurar la homeostasis metabólica. Los farmabióticos actúan principalmente a través de la modulación de patógenos, la regulación del sistema inmunológico y el fortalecimiento de la barrera intestinal, al reducir la permeabilidad y la endotoxemia (Liu, Wang & Wu, 2022). En paralelo, los nutribióticos ejercen su influencia a través de la biotransformación de nutrientes esenciales como los ácidos grasos poliinsaturados, la optimización de la extracción energética y la síntesis de vitaminas (Vernocchi, Del Chierico

& Putignani, 2020). Un ejemplo de ello es la capacidad de las bifidobacterias para sintetizar folato *de novo* y el uso de *Bifidobacterium longum* para el enriquecimiento de riboflavina (D'Aimmo *et al.*, 2023; Tamés, Cuesta, Ruiz & Ruas-Madiedo, 2025). Asimismo, se ha documentado la biosíntesis de menaquinona (vitamina K2) por *Lactococcus lactis* como una respuesta adaptativa que mejora la salud ósea del huésped (Liu, Van Bennnekom, Zhang, Abee & Smid, 2019). Estos procesos convergen en tres efectos mediadores principales que inciden en la composición corporal: la modulación de la inflamación sistémica, la regulación de la sensibilidad a la insulina y la alteración del metabolismo energético (Cristofori, Dargenio, Miniello, Barone & Francavilla, 2021). Otra vía por la que ambos probióticos promueven un efecto en la composición corporal es en la modificación del estado de sensibilidad a la insulina, que es un factor clave en la regulación del metabolismo y la composición corporal (Ma, Jiang, Wen, Zhang & Xiu, 2023). Esto se logra a través de diversos mecanismos incluyendo la producción de los AGCC como el butirato, que mejora la señalización de la insulina en los tejidos periféricos a través de receptores acoplados a proteínas G, que al actuar a nivel pancreático propicia la producción de insulina y favorece la síntesis de proteína a nivel muscular (Shou, Chen & Xiao, 2020).

Finalmente, también asociado al efecto modulador de la resistencia a la insulina por medio de la administración

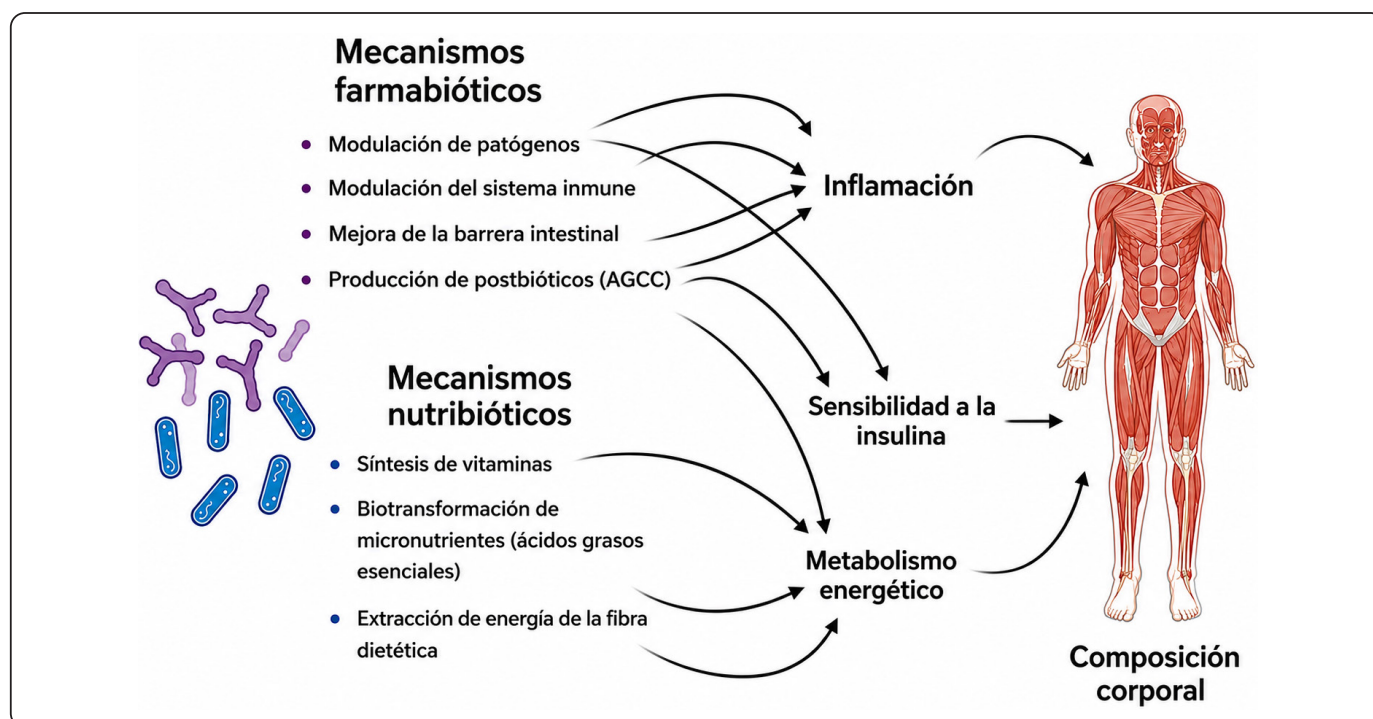


Figura 2. Mecanismos de acción mediante los cuales nutribióticos y farmabióticos promueven efectos sobre la composición corporal al modular procesos inflamatorios, la sensibilidad a la insulina y el metabolismo energético. Elaboración de la Figura creatividad personal.

de distintos nutribióticos y farmabióticos de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, incluida la modulación de hormonas intestinales como el péptido similar al glucagón (GLP-1) una hormona incretina secretada por las células L del intestino que mejora la sensibilidad a la insulina, reduce el apetito y ralentiza el vaciado gástrico (Pegah, Abbasi-Oshaghi, Khodadadi, Mirzaei & Tayebinia, 2021; Thomas *et al.*, 2020). Asimismo, el estímulo de la GLP-1 aumenta la sensibilidad a la insulina en el músculo esquelético, y mejora indirectamente la síntesis de proteínas musculares al reducir su degradación, ya que el tratamiento con agonistas del receptor de GLP-1 mejora la sensibilidad a la insulina en individuos con diabetes mellitus tipo 2 (Parlevliet, De Leeuw Van Weenen, Romijn & Pijl, 2010).

Por lo tanto, la modulación de los factores descritos con la administración de nutribióticos y farmabióticos genera diversos cambios en la composición corporal, al estar estrechamente relacionada con el metabolismo energético.

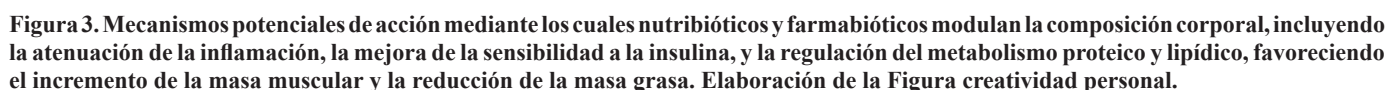
EQUILIBRIO DE LAS PROPORCIONES DE LA MASA MAGRA Y GRASA EN LA TERAPÉUTICA DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

El tratamiento para la composición corporal se centra en la optimización del equilibrio entre masa magra y grasa, componentes asociados al riesgo cardiometabólico, la funcionalidad física y el estado inflamatorio sistémico. Aunque estas proporciones están moduladas por variables biológicas como la edad, sexo y etnia, su interpretación clínica se sustenta en criterios de referencia estandarizados que permiten estratificar el riesgo metabólico y funcional.

En relación con la adiposidad, los esquemas clásicos establecieron rangos esperados de grasa corporal en función del índice de masa corporal. Gallagher, Heymsfield, Heo, Jebb, Murgatroyd & Sakamoto (2000) propusieron valores de referencia aproximados de 8–20 % en hombres y 21–33 % en mujeres, con umbrales de obesidad cercanos al 25 % y 39 %, respectivamente, observándose un incremento progresivo con la edad. En contraste, estudios más recientes le dieron prioridad a la asociación entre grasa corporal y comorbilidades metabólicas. Bajo esta perspectiva, se han propuesto puntos de corte de sobrepeso por grasa corporal en un aproximado de 25 % en hombres y de 36 % en mujeres, y obesidad de 30 % y 42 %, respectivamente, en función de su correspondencia con la prevalencia de síndrome metabólico (Potter, Chin, Looney & Friedl, 2024). Así también para estudios poblacionales con absorciometría dual de rayos X que reportan valores promedio de grasa corporal cercanos al 25 % en hombres y 35 % en mujeres adultas jóvenes, con incrementos significativos hacia edades avanzadas (Ofenheimer *et al.*, 2020). La evaluación del componente magro ha evolucionado desde la cuantificación de la masa muscular absoluta hacia una perspectiva integradora que considera cantidad tisular y capacidad funcional. Estimaciones

poblacionales tempranas situaron a la masa muscular esquelética relativa en torno al 38 % en hombres y 31 % en mujeres (Janssen, Heymsfield, Wang & Ross, 2000); sin embargo, los consensos internacionales actuales miden el diagnóstico de las alteraciones musculares a través de criterios específicos para fuerza, masa muscular y desempeño físico. El consenso europeo EWGSOP2 establece dentro de los indicativos de baja fuerza, valores de prensión manual inferiores a 27 kg en hombres y 16 kg en mujeres, junto con índices de masa muscular apendicular ajustados por talla inferiores a 7.0 kg/m² y 5.5 kg/m², respectivamente, además parámetros de bajo desempeño físico relacionados a una velocidad de marcha ≤ 0.8 m/s, una puntuación ≤ 8 en la batería corta de desempeño físico o una prueba Timed Up and Go ≥ 20 s (Cruz-Jentoft *et al.*, 2019). De forma complementaria, el consenso asiático actualizado propone umbrales comparables para la masa muscular apendicular (< 7.0 kg/m² en hombres y < 5.7 kg/m² en mujeres por bioimpedancia), aunque con valores ligeramente superiores para la baja fuerza muscular, es decir, valores de prensión manual < 28 kg en hombres y < 18 kg en mujeres, además de un tiempo ≥ 12 s en la prueba de levantarse de la silla cinco veces (Chen *et al.*, 2020). Estas aproximaciones reflejan la necesidad de ajustar los criterios de diagnóstico a las características poblacionales.

Para la evaluación de la fragilidad o sarcopenia, la cuantificación de la masa muscular reporta masa muscular apendicular ajustada por talla o por tamaño corporal, ya que estos índices discriminan mejor el riesgo clínico que los kilogramos absolutos. En este contexto, el consenso europeo EWGSOP2 recomienda confirmar la sarcopenia cuando coexisten baja fuerza y cantidad muscular, y propone como puntos de corte por absorciometría dual de rayos X una masa muscular apendicular menor de 7.0 kg/m² en hombres y menor de 5.5 kg/m² en mujeres (Cruz-Jentoft *et al.*, 2019). Este enfoque refuerza la necesidad de incorporar indicadores que se ajusten al tamaño corporal en la valoración de su composición, particularmente en escenarios donde la pérdida muscular coexista con estados de adiposidad elevada y configure fenotipos de alto riesgo metabólico. En el ámbito de la vigilancia nutricional, el uso de bioimpedancia eléctrica permite establecer curvas de referencia poblacionales que integran índices de masa muscular esquelética y de masa grasa ajustados por talla, para facilitar la identificación temprana de las desviaciones a estados de adiposidad excesiva o de deterioro muscular medidos en percentiles por edad y sexo (Lee, Jebb, Oke & Piernas, 2020). Bajo este marco clínico, la modulación simultánea de la masa grasa y del tejido magro se convierten en objetivo terapéutico prioritario. La evidencia sugiere que los nutribióticos y los farmabióticos influyen en este equilibrio al producir postbióticos, la regulación de mediadores proinflamatorios a nivel intestinal, la mejora de la sensibilidad a la insulina, en los procesos que convergen en la síntesis proteica y en el metabolismo lipídico; mecanismos que respaldan su potencial para reducir la adiposidad y favorecer la preservación o el incremento de la masa muscular, al promover un impacto directo sobre la composición corporal (Figura 3).



Otro mecanismo asociado es la producción de ácidos biliares secundarios a través de la estimulación de los receptores TGR5 los cuales favorecen la estimulación de la hipertrofia muscular al activar los procesos de diferenciación celular (Giron, Thomas, Dardevet, Chassard & Savary-Auzeloux, 2022). Diversas especies de farmabióticos modifican el estado de la masa muscular. En particular, las bacterias de los géneros *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, asociadas al mantenimiento del estado

Los AGCC, butirato, acetato y propionato, tienen distintos efectos sobre el metabolismo y el estado de salud del huésped, al desempeñar un papel crucial por mejorar la sensibilidad a la insulina y la regulación del metabolismo energético. En específico, el butirato aumenta la expresión de los transportadores de glucosa GLUT-4 en el músculo esquelético y en el tejido adiposo, mejorando así la captación de glucosa mediada por insulina (Canfora, Jocken & Blaak, 2015). Asimismo, activa

Tabla II. Mecanismos asociados a la modulación de la composición corporal generada por el consumo de farmabióticos

Farmabióticos y dosis administrada	Efecto en la composición corporal	Mecanismo	Referencias
<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> SKO-001 (2×10^{10} UFC/día, 12 semanas)	Disminución del porcentaje de grasa corporal y del área de grasa subcutánea	Modulación de la disbiosis intestinal y regulación del metabolismo lipídico	Shin, Park, Kim, Cho, Seo & Lee (2024)
<i>Lactobacillus plantarum</i> LMT1-48 (5×10^9 UFC/día; 2 cápsulas/día, 12 semanas)	Disminución del porcentaje de grasa corporal	Modulación de la microbiota con impacto en la adiposidad corporal	Lee <i>et al.</i> (2025) Lee <i>et al.</i> (2024)
<i>Bifidobacterium lactis</i> IDCC 4301 (<i>B. lactis</i> Fit™) ($>5.0 \times 10^9$ UFC/día, 12 semanas)	Pérdida de grasa total y troncal, disminución del índice de masa corporal	Mejora el metabolismo lipídico y la modulación del eje leptina/adiponectina	
<i>Bifidobacterium breve</i> B-3 (BB-3) (5×10^9 UFC/día, 12 semanas)	Disminución del peso, del porcentaje de grasa corporal y del índice cintura cadera	Regulación de las señales intestinales y metabólicas asociadas con la distribución de adiposidad	Sung, Youn, Choi, Eun & Shin (2023)
Multicepa (8 cepas) + dieta hipocalórica (3×10^{10} UFC/día, 12 semanas): <i>L. acidophilus</i> , <i>L. casei</i> , <i>L. paracasei</i> , <i>B. lactis</i> , <i>B. breve</i> , <i>B. infantis</i> , <i>B. longum</i> y <i>S. thermophilus</i>	Disminución de la adiposidad corporal	Modulación sinérgica de la microbiota intestinal y del metabolismo energético/lipídico	da Silva Pontes, Sales, Fonseca, Oliveira & do Carmo Gouveia Peluzio (2025)

receptores acoplados a proteínas G (GPR41 y GPR43) en tejidos como el páncreas, el adiposo y el músculo esquelético, lo que conduce a una mayor secreción de los péptidos YY y GLP-1 que mejoran la sensibilidad a la insulina y regulan el apetito (Chambers, Morrison & Frost, 2014). Existe una menor cantidad de estudios del impacto de los nutribióticos y farmabióticos sobre el músculo esquelético, sin embargo, se ha establecido que el butirato actúa sobre la síntesis de proteínas musculares al activar la vía de señalización mTOR, la cual es crucial para el crecimiento y la hipertrofia muscular (Canfora *et al.*, 2015).

PERSPECTIVAS ACTUALES Y FUTURAS DE LA APLICACIÓN DE NUTRIBIÓTICOS Y FARMABIÓTICOS EN LA NUTRICIÓN PERSONALIZADA Y BIOTERAPÉUTICA

La evidencia contemporánea sugiere que la suplementación con probióticos y simbióticos contribuyen a mejorar la composición corporal, de forma consistente, pero de magnitud moderada y dependiente del contexto dietario y conductual. Metaanálisis recientes documentan reducciones discretas pero significativas en el peso corporal, el índice de masa corporal, la masa libre de grasa, pero con diferencias significativas relevantes en la masa grasa y la circunferencia de cintura, lo que sugiere una acción preferente sobre los compartimentos adiposos (Saadati, Naseri, Asbaghi, Yousefi, Golalipour & de Courten, 2024). Este patrón es fisiológicamente coherente, dado que la microbiota intestinal participa en la regulación del balance energético al aprovechar sustratos no digeribles,

la producción de metabolitos microbianos y la modulación de señales inflamatorias y de permeabilidad intestinal asociadas con la adiposidad central y la disfunción metabólica (Vetrani *et al.*, 2022). Asimismo, estudios en humanos bajo condiciones dietarias controladas refuerzan que las interacciones huésped–dieta–microbioma modifican componentes cuantificables del balance energético, lo que posiciona a la microbiota como un determinante modulable, aunque no exclusivo de la eficiencia energética y la partición de nutrientes (Corbin *et al.*, 2023). En este escenario, la prioridad metodológica probablemente se desplazará desde la recomendación genérica de probióticos hacia estrategias basadas en cepas con evidencia clínica sólida, dosis estandarizadas, ventanas de intervención adecuadas y desenlaces de mayor relevancia clínica, en particular los vinculados con la adiposidad central y la distribución del tejido graso. De igual forma, la consolidación de matrices alimentarias fermentadas y alimentos funcionales como sistemas de entrega representan una vía estratégica para mejorar la viabilidad microbiana, la estabilidad del producto y la adherencia al consumo, factores que condicionan la eficacia biológica de estas intervenciones (Kaur, Kaur & Ali, 2022).

El avance del conocimiento en el tema se beneficiaría con la transición hacia modelos de nutrición que integren el estado basal del microbioma, el patrón dietario y la respuesta metabólica individual. La incorporación de estudios multi-ómicos que incluyan la metagenómica, metabolómica y transcriptómica, en

combinación con herramientas analíticas avanzadas y algoritmos predictivos abren la posibilidad para la identificación de perfiles de respuesta diferencial, que favorezcan intervenciones más concretas y eficaces (Simon, Sina, Ferrario & Daniel, 2023). En este marco, el desarrollo de metabolitos microbianos específicos y de postbióticos dirigidos, son una línea prometedora para la modulación selectiva de rutas inflamatorias, energéticas y anabólicas con mayor precisión biológica.

Desde una perspectiva clínica, estas innovaciones ampliarían el espectro de aplicación de los nutribióticos y farmabióticos más allá del control de la adiposidad, favoreciendo con su incorporación en el abordaje integral de condiciones tan complejas como la obesidad, la sarcopenia, el síndrome metabólico y diversas enfermedades inflamatorias crónicas, donde la interacción microbiota–huésped desempeña un papel determinante. No obstante, la consolidación de estas estrategias requiere de ensayos clínicos robustos, estandarización de biomarcadores y marcos regulatorios para garantizar que son reproducibles, seguros y de aplicación clínica.

CONCLUSIONES

La importancia de los nutribióticos y farmabióticos es significativa en la composición corporal por la acción de distintos mecanismos. Los nutribióticos actúan principalmente a través de procesos de biotransformación de los macro y micronutrientes, para facilitar la biodisponibilidad de compuestos esenciales y la síntesis de vitaminas, impactan en el estado nutricional y, en consecuencia, en la composición corporal. Por su parte, los farmabióticos, al producir postbióticos específicos como los ácidos grasos de cadena corta y las bacteriocinas, modulan procesos inflamatorios y metabólicos, con influencia en el metabolismo glucídico y el proteico, cuyo resultado son las modificaciones favorables de la masa magra, grasa y la densidad ósea.

El uso de probióticos con fines bioterapéuticos (farmabióticos) y nutricionales (nutribióticos) tiene un alto potencial en la prevención y promoción en salud con atención a las enfermedades asociadas al estilo de vida occidental. El objetivo terapéutico sobre la composición corporal es en especial relevante, derivado de su relación con la salud metabólica y cardiovascular, sin embargo, cobra gran importancia el diseño y evaluación de las especies nutribióticas y farmabióticas, en dosis adecuadas y seguras para su consumo, con estudios clínicos que validen los efectos asociados a su consumo.

AGRADECIMIENTOS

Carlos Alonso Salas Ramírez agradece la beca otorgada por la SECIHTI.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no existencia de conflictos de interés.

REFERENCIAS

- Almeida, A., Mitchell, A. L., Boland, M., Forster, S. C., Gloor, G. B., Tarkowska, A., Lawley, T. D. & Finn, R. D. (2019). A new genomic blueprint of the human gut microbiota. *Nature*, **568**(7753), 499–504. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0965-1>
- Aron-Wisniewsky, J., Prifti, E., Belda, E., Ichou, F., Kayser, B. D., Dao, M. C., Verger, E. O., Hedjazi, L., Bouillot, J.-L., Chevallier, J.-M., Pons, N., Le Chatelier, E., Levenez, F., Ehrlich, S. D., Doré, J., Zucker, J.-D. & Clément, K. (2019). Major microbiota dysbiosis in severe obesity: Fate after bariatric surgery. *Gut*, **68**(1), 70–82. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2018-316103>
- Arora, M. & Baldi, A. (2015). Regulatory categories of probiotics across the globe: A review representing existing and recommended categorization. *Indian Journal of Medical Microbiology*, **33**, S2–S10. <https://doi.org/10.4103/0255-0857.150868>
- Asnicar, F., Berry, S. E., Valdes, A. M., Nguyen, L. H., Piccinno, G., Drew, D. A., Leeming, E., Gibson, R., Le Roy, C., Al Khatib, H., Francis, L., Mazidi, M., Mompeo, O., Valles-Colomer, M., Tett, A., Beghini, F., Dubois, L., Bazzani, D., Maltez Thomas, A., Mirzayi, C., Khleborodova, A., Oh, S., Hine, R., Bonnett, C., Capdevila, J., Danzanvilliers, S., Giordano, F., Geistlinger, L., Waldron, L., Davies, R., Hadjigeorgiou, G., Wolf, J., Ordovás, J. M., Gardner, C., Franks, P. W., Chan, A. T., Huttenhower, C., Spector, T. D. & Segata, N. (2021). Microbiome connections with host metabolism and habitual diet from 1,098 deeply phenotyped individuals. *Nature Medicine*, **27**(2), 321–332. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-01183-8>
- Augustynowicz, G., Lasocka, M., Szyller, H. P., Dziedziak, M., Mytych, A., Braksator, J. & Pytrus, T. (2025). The role of gut microbiota in the development and treatment of obesity and overweight: A literature review. *Journal of Clinical Medicine*, **14**(14), 4933. <https://doi.org/10.3390/jcm14144933>
- Bock, P. M., Martins, A. F. & Schaan, B. D. (2024). Understanding how pre- and probiotics affect the gut microbiome and metabolic health. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, **326**(3), E215–E227. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00054.2024>
- Campa, F., Toselli, S., Mazzilli, M., Gobbo, L. A. & Coratella, G. (2021). Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients*, **13**(5), 1620. <https://doi.org/10.3390/nu13051620>
- Candelli, M., Franza, L., Pignataro, G., Ojetti, V., Covino, M., Piccioni, A., Gasbarrini, A. & Franceschi, F. (2021). Interaction between Lipopolysaccharide and Gut Microbiota in Inflammatory Bowel Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, **22**(12), 6242. <https://doi.org/10.3390/ijms22126242>

- Canfora, E. E., Jocken, J. W. & Blaak, E. E. (2015). Short-chain fatty acids in control of body weight and insulin sensitivity. *Nature Reviews Endocrinology*, **11**(10), 577-591. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2015.128>
- Cani, P. D. (2018). Human gut microbiome: hopes, threats and promises. *Gut*, **67**(9), 1716-1725. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2018-316723>
- Chambers, E. S., Morrison, D. J. & Frost, G. (2014). Control of appetite and energy intake by SCFA: what are the potential underlying mechanisms? *Proceedings of The Nutrition Society*, **74**(3), 328-336. <https://doi.org/10.1017/s0029665114001657>
- Chambers, E. S., Preston, T., Frost, G. & Morrison, D. J. (2018). Role of gut microbiota-generated short-chain fatty acids in metabolic and cardiovascular health. *Current Nutrition Reports*, **7**(4), 198-206. <https://doi.org/10.1007/s13668-018-0248-8>
- Chambers, E. S., Viardot, A., Psichas, A., Morrison, D. J., Murphy, K. G., Zac-Varghese, S. E. K., MacDougall, K., Preston, T., Tedford, C., Finlayson, G. S., Blundell, J. E., Bell, J. D., Thomas, E. L., Mt-Isa, S., Ashby, D., Gibson, G. R., Kolida, S., Dhillo, W. S., Bloom, S. R., Morley, W., Clegg, S. & Frost, G. (2015). Effects of targeted delivery of propionate to the human colon on appetite regulation, body weight maintenance and adiposity in overweight adults. *Gut*, **64**(11), 1744-1754. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2014-307913>
- Chen, L.-K., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T.-W., Chou, M.-Y., Iijima, K., Jang, H. C., Kang, L., Kim, M., Kim, S., Kojima, T., Kuzuya, M., Lee, J. S. W., Lee, S. Y., Lee, W.-J., Lee, Y., Liang, C.-K., Lim, J.-Y., Lim, W. S., Peng, L.-N., Sugimoto, K., Tanaka, T., Won, C. W., Yamada, M., Zhang, T., Akishita, M. & Arai, H. (2020). Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, **21**(3), 300-307.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.12.012>
- Clemente-Postigo, M., Beltrán-Debón, R., Murri, M., Menacho-Román, M., Tinahones, F. J. & Cardona, F. (2019). Metabolic endotoxemia promotes adipose dysfunction and inflammation in human obesity. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, **316**(2), E319-E332. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00277.2018>
- Corbin, K. D., Carnero, E. A., Dirks, B., Igudesman, D., Yi, F., Marcus, A., Davis, T. L., Pratley, R. E., Rittmann, B. E., Krajmalnik-Brown, R. & Smith, S. R. (2023). Host-diet-gut microbiome interactions influence human energy balance: a randomized clinical trial. *Nature Communications*, **14**(1), 3161. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38778-x>
- Cristofori, F., Dargenio, V. N., Dargenio, C., Miniello, V. L., Barone, M. & Francavilla, R. (2021). Anti-Inflammatory and Immunomodulatory Effects of Probiotics in Gut Inflammation: A Door to the Body. *Frontiers in Immunology*, **12**, 578386. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.578386>
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M. & Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, **48**(1), 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- D'Aimmo, M. R., Satti, M. A., Scarafile, D., Modesto, M., Pascarelli, S., Biagini, S. A., Luiselli, D., Mattarelli, P. & Andlid, T. (2023). Folate-producing bifidobacteria: Metabolism, genetics, and relevance. *Microbiome Research Reports*, **3**(1), Article 11. <https://doi.org/10.20517/mrr.2023.59>
- da Silva Pontes, V. C. B., Sales, E. A., Fonseca, R. A., de Oliveira, L. N. X. & do Carmo Gouveia Peluzio, M. (2025). Probiotic supplementation combined with energy-restricted diet decreases body weight and adiposity in overweight and obese women: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial. *Clinical Nutrition*, **44**(8), 1894-1903. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2025.05.005>
- Di Vincenzo, F., Del Gaudio, A., Petito, V., Lopetuso, L. R. & Scaldaferri, F. (2024). Gut microbiota, intestinal permeability, and systemic inflammation: A narrative review. *Internal and Emergency Medicine*, **19**(1), 275-293. <https://doi.org/10.1007/s11739-023-03374-w>
- Fan, Y. & Pedersen, O. (2021). Gut microbiota in human metabolic health and disease. *Nature Reviews Microbiology*, **19**(1), 55-71. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0433-9>
- Fuke, N., Yamashita, T., Shimizu, S., Matsumoto, M., Sawada, K., Jung, S., Tokuda, I., Misawa, M., Suzuki, S., Ushida, Y., Mikami, T., Itoh, K. & Suganuma, H. (2023). Association of Plasma Lipopolysaccharide-Binding Protein Concentration with Dietary Factors, Gut Microbiota, and Health Status in the Japanese General Adult Population: A Cross-Sectional Study. *Metabolites*, **13**(2), 250. <https://doi.org/10.3390/metabo13020250>
- Gallagher, D., Heymsfield, S. B., Heo, M., Jebb, S. A., Murgatroyd, P. R. & Sakamoto, Y. (2000). Healthy percentage body fat ranges: An approach for developing guidelines based on body mass index. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **72**(3), 694-701. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.3.694>
- Giron, M., Thomas, M., Dardevet, D., Chassard, C. & Savary-Auzeloux, I. (2022). Gut microbes and muscle function: can probiotics make our muscles stronger? *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **13**(3), 1460-1476. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12964>
- Holscher, H. D. (2017). Dietary fiber and prebiotics and the gastrointestinal microbiota. *Gut Microbes*, **8**(2), 172-184. <https://doi.org/10.1080/19490976.2017.1290756>
- Hong, J., Jia, Y., Pan, S., Jia, L., Li, H., Han, Z., Cai, D. & Zhao, R. (2016). Butyrate alleviates high fat diet-induced obesity through activation of adiponectin-mediated pathway and stimulation of mitochondrial function in the skeletal

- muscle of mice. *Oncotarget*, **7**(35), 56071-56082. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.11267>
- Horiuchi, H., Kamikado, K., Aoki, R., Suganuma, N., Nishijima, T., Nakatani, A. & Kimura, I. (2020). *Bifidobacterium animalis* subsp. *lactis* GCL2505 modulates host energy metabolism via the short-chain fatty acid receptor GPR43. *Scientific Reports*, **10**(1), 4154. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60984-6>
- Jamar, G., Santamarina, A. B., Dias, G. C., Masquio, D. C. L., De Rosso, V. V. & Pisani, L. P. (2018). Relationship between fatty acids intake and *Clostridium coccoides* in obese individuals with metabolic syndrome. *Food Research International*, **113**, 86-92. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.002>
- Janssen, I., Heymsfield, S. B., Wang, Z. & Ross, R. (2000). Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 yr. *Journal of Applied Physiology*, **89**(1), 81–88. <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.89.1.81>
- Kasper, A. M., Langan-Evans, C., Hudson, J. F., Brownlee, T. E., Harper, L. D., Naughton, R. J., Morton, J. P. & Close, G. L. (2021). Come back skinfolds, all is forgiven: A narrative review of the efficacy of common body composition methods in applied sports practice. *Nutrients*, **13**(4), 1075. <https://doi.org/10.3390/nu13041075>
- Kaur, H., Kaur, G. & Ali, S. A. (2022). Dairy-based probiotic-fermented functional foods: An update on their health-promoting properties. *Fermentation*, **8**(9), 425. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090425>
- Komodromou, I., Andreou, E., Vlahoyiannis, A., Christofidou, M., Felekis, K., Pieri, M. & Giannaki, C. D. (2024). Exploring the dynamic relationship between the gut microbiome and body composition across the human lifespan: A systematic review. *Nutrients*, **16**(5), 660. <https://doi.org/10.3390/nu16050660>
- Kumar, R., Grover, S. & Batish, V. K. (2010). Hypocholesterolaemic effect of dietary inclusion of two putative probiotic bile salt hydrolase-producing *Lactobacillus plantarum* strains in Sprague–Dawley rats. *British Journal of Nutrition*, **105**(4), 561-573. <https://doi.org/10.1017/s0007114510003740>
- Kumar, M., Nagpal, R., Kumar, R., Hemalatha, R., Verma, V., Kumar, A., Chakraborty, C., Singh, B., Marotta, F., Jain, S. & Yadav, H. (2012). Cholesterol-lowering probiotics as potential biotherapeutics for metabolic diseases. *Experimental Diabetes Research*, **2012**, 902917. <https://doi.org/10.1155/2012/902917>
- Kume, T., Acar, S., Tuhan, H., Çatlı, G., Anık, A., Çalan, Ö. G., Böber, E. & Abacı, A. (2016). The Relationship between Serum Zonulin Level and Clinical and Laboratory Parameters of Childhood Obesity. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*, **9**(1), 31-38. <https://doi.org/10.4274/jcrpe.3682>
- Latif, A., Shehzad, A., Niazi, S., Zahid, A., Ashraf, W., Iqbal, M. W., Rehman, A., Riaz, T., Aadil, R. M., Khan, I. M., Özogul, F., Rocha, J. M., Esatbeyoglu, T. & Korma, S. A. (2023). Probiotics: Mechanism of action, health benefits and their application in food industries. *Frontiers in Microbiology*, **14**, 1216674. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1216674>
- Le Chatelier, E., Nielsen, T., Qin, J., Prifti, E., Hildebrand, F., Falony, G., Almeida, M., Arumugam, M., Batto, J.-M., Kennedy, S., Leonard, P., Li, J., Burgdorf, K., Grarup, N., Jørgensen, T., Brandslund, I., Nielsen, H. B., Juncker, A. S., Bertalan, M., Levenez, F., Pons, N., Rasmussen, S., Sunagawa, S., Tap, J., Tims, S., Zoetendal, E. G., Brunak, S., Clément, K., Doré, J., Kleerebezem, M., Kristiansen, K., Renault, P., Sicheritz-Ponten, T., de Vos, W. M., Zucker, J.-D., Raes, J., Hansen, T., MetaHIT Consortium, Bork, P., Wang, J., Ehrlich, S. D. & Pedersen, O. (2013). Richness of human gut microbiome correlates with metabolic markers. *Nature*, **500**(7464), 541–546. <https://doi.org/10.1038/nature12506>
- Lee, M., Bok, M. K., Son, K., Lee, M., Park, H., Yang, J. & Lim, H. (2024). *Bifidobacterium lactis* IDCC 4301 (B. lactis Fit™) supplementation effects on body fat, serum triglyceride, and adipokine ratio in obese women: A randomized clinical trial. *Food & Function*, **15**, 8448-8458. <https://doi.org/10.1039/d4fo00535j>
- Lee, M., Hsu, Y., Ho, H., Kuo, Y., Lin, W., Tsai, S., Chen, W., Lin, C. & Huang, C. (2021). Effectiveness of human-origin *Lactobacillus plantarum* PL-02 in improving muscle mass, exercise performance and anti-fatigue. *Scientific Reports*, **11**(1), 19469. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98958-x>
- Lee, M.-M., Jebb, S. A., Oke, J. & Piernas, C. (2020). Reference values for skeletal muscle mass and fat mass measured by bioelectrical impedance in 390,565 UK adults. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **11**(2), 487–496. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12523>
- Lee, S.-B., Yoo, B., Baeg, C., Yun, J., Ryu, D.-w., Kim, G., Kim, S., Shin, H. & Lee, J. H. (2025). A 12-Week, randomized, double-blind, placebo-controlled study to evaluate the efficacy and safety of *Lactobacillus plantarum* LMT1-48 on body fat loss. *Nutrients*, **17**(7), 1191. <https://doi.org/10.3390/nu17071191>
- Li, T., Rui, Z., Mao, L., Chang, Y., Shao, J., Chen, Y., Han, Q., Sui, X., An, N., Li, H., Feng, H., Jiang, T. & Wang, Q. (2023). Eight weeks of *Bifidobacterium lactis* BL-99 supplementation improves lipid metabolism and sports performance in college students. *Nutrients*, **15**(21), 4554. <https://doi.org/10.3390/nu15214554>
- Liu, Y., Van Bennekom, E. O., Zhang, Y., Abee, T. & Smid, E. J. (2019). Long-chain vitamin K2 production in *Lactococcus lactis* is influenced by temperature, carbon source, aeration and mode of energy metabolism. *Microbial Cell Factories*, **18**(1), 129. <https://doi.org/10.1186/s12934-019-1179-9>
- Liu, Y., Wang, J. & Wu, C. (2022). Modulation of Gut Microbiota and Immune System by Probiotics, Pre-biotics, and Post-biotics. *Frontiers in Nutrition*, **8**, 634897. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.634897>
- Ma, M., Jiang, T., Wen, Z., Zhang, D. & Xiu, L. (2023).

- Gender Differences in Relation to Body Composition, Insulin Resistance, and Islet Beta Cell Function in Newly Diagnosed Diabetic or Pre-Diabetic Patients. *Diabetes Metabolic Syndrome and Obesity*, **16**, 723-732. <https://doi.org/10.2147/dmso.s397528>
- Martin-Gallausiaux, C., Marinelli, L., Blottiere, H. H., Larraufie, P. & Lapaque, N. (2020). SCFA: mechanisms and functional importance in the gut. *Proceedings of the Nutrition Society*, **80**(1), 37-49. <https://doi.org/10.1017/s0029665120006916>
- Messina, C., Albano, D., Gitto, S., Tofanelli, L., Bazzocchi, A., Ulivieri, F. M., Guglielmi, G. & Sconfienza, L. M. (2020). Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: From basics to new tools. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **10**(8), 1687-1698. <https://doi.org/10.21037/qims.2020.03.02>
- Nikolaidis, P. T., Vancini, R. L., Andrade, M. D. S., De Lira, C. A. B. & Knechtle, B. (2021). Assessment Methods of Body Fat in Recreational Marathon Runners: Bioelectrical Impedance Analysis versus Skinfold Thickness. *BioMed Research International*, **2021**(1), 3717562. <https://doi.org/10.1155/2021/3717562>
- Niu, H., Zhou, M., Ji, A., Zogona, D., Wu, T. & Xu, X. (2024). Molecular Mechanism of Pasteurized *Akkermansia muciniphila* in Alleviating Type 2 Diabetes Symptoms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **72**(23), 13083-13098. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c01188>
- Nogal, A., Valdes, A. M. & Menni, C. (2021). The role of short-chain fatty acids in the interplay between gut microbiota and diet in cardio-metabolic health. *Gut Microbes*, **13**(1), 1-24. <https://doi.org/10.1080/19490976.2021.1897212>
- Noormohammadi, M., Ghorbani, Z., Löber, U., Mahdavi-Roshan, M., Bartolomaeus, T. U., Kazemi, A., Shoaibinobarian, N. & Forslund, S. K. (2022). The effect of probiotic and synbiotic supplementation on appetite-regulating hormones and desire to eat: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Pharmacological Research*, **187**, 106614. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2022.106614>
- O'Connell, K. J., Motherway, M. O., O'Callaghan, J., Fitzgerald, G. F., Ross, R. P., Ventura, M., Stanton, C. & Van Sinderen, D. (2013). Metabolism of Four α -Glycosidic Linkage-Containing Oligosaccharides by *Bifidobacterium breve* UCC2003. *Applied and Environmental Microbiology*, **79**(20), 6280-6292. <https://doi.org/10.1128/aem.01775-13>
- O'Donoghue, G., Blake, C., Cunningham, C., Lennon, O. & Perrotta, C. (2020). What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis. *Obesity Reviews*, **22**(2), e13137. <https://doi.org/10.1111/obr.13137>
- Ofenheimer, A., Breyer-Kohansal, R., Hartl, S., Burghuber, O. C., Krach, F., Schrott, A., Wouters, E. F. M., Franssen, F. M. E. & Breyer, M.-K. (2020). Reference values of body composition parameters and visceral adipose tissue (VAT) by DXA in adults aged 18-81 years—results from the LEAD cohort. *European Journal of Clinical Nutrition*, **74**, 1181-1191. <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0596-5>
- Office of Dietary Supplements [ODS]-Probiotics. (2023). <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Probiotics-HealthProfessional/>
- Ohlsson, B., Orho-Melander, M. & Nilsson, P. M. (2017). Higher levels of serum zonulin may rather be associated with increased risk of obesity and hyperlipidemia, than with gastrointestinal symptoms or disease manifestations. *International Journal of Molecular Sciences*, **18**(3), 582. <https://doi.org/10.3390/ijms18030582>
- Oudat, Q. & Okour, A. (2025). The Role of Probiotics in Modulating Gut Microbiota and Metabolic Health for Weight Management: A Mini Review. *Acta Microbiologica Hellenica*, **70**(1), 5. <https://doi.org/10.3390/amh70010005>
- Pareja, I. C., Vegas-Aguilar, I. M., Lukaski, H., Talluri, A., Bellido-Guerrero, D., Tinahones, F. J. & García-Almeida, J. M. (2022). Overhydration Assessed Using Bioelectrical Impedance Vector Analysis Adversely Affects 90-Day Clinical Outcome among SARS-CoV2 Patients: A New Approach. *Nutrients*, **14**(13), 2726. <https://doi.org/10.3390/nu14132726>
- Parlevliet, E. T., De Leeuw Van Weenen, J. E., Romijn, J. A. & Pijl, H. (2010). GLP-1 treatment reduces endogenous insulin resistance via activation of central GLP-1 receptors in mice fed a high-fat diet. *AJP Endocrinology and Metabolism*, **299**(2), E318-E324. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00191.2010>
- Pawar, R., Dhawal, P., Nabar, B., Barve, S. & Zambare, V. (2022). Mechanisms and applications of probiotics in healthcare industry. En *Elsevier eBooks* (pp. 225-257). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-90042-3.00002-5>
- Pegah, A., Abbasi-Oshaghi, E., Khodadadi, I., Mirzaei, F. & Tayebinia, H. (2021). Probiotic and resveratrol normalize GLP-1 levels and oxidative stress in the intestine of diabetic rats. *Metabolism Open*, **10**, 100093. <https://doi.org/10.1016/j.metop.2021.100093>
- Peng, X., Nie, C., Guan, W., Qiao, L., Lu, L. & Cao, S. (2020). Regulation of Probiotics on Metabolism of Dietary Protein in Intestine. *Current Protein and Peptide Science*, **21**(8), 766-771. <https://doi.org/10.2174/138920372066619111112941>
- Pessione, E. & Cirrincione, S. (2016). Bioactive molecules released in food by lactic acid bacteria: encrypted peptides and biogenic amines. *Frontiers in Microbiology*, **7**, 876. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00876>
- Portincasa, P., Bonfrate, L., Khalil, M., De Angelis, M., Calabrese, F. M., D'Amato, M., Wang, D. Q. H. & Di Ciaula, A. (2022). Intestinal barrier and permeability in health, obesity and NAFLD. *Biomedicines*, **10**(1), 83. <https://doi.org/10.3390/biomedicines10010083>
- Potter, A. W., Chin, G. C., Looney, D. P. & Friedl, K. E. (2024). Defining overweight and obesity by percent body fat instead of body mass index. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **110**(4), e1103-e1107. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgae341>

- Qassab, M. A., Chaarani, N., Hamou, A., Harb, R., Jradi, A., Zeineddine, M., Ghadieh, H. E., Khattar, Z. A., Azar, S., Kanaan, A. & Harb, F. (2026). The Gut Microbiota–Insulin Resistance Axis: Mechanisms, Clinical Implications, and Therapeutic Potential. *FASEB BioAdvances*, **8**(1), e70080. <https://doi.org/10.1096/fba.2025-00218>
- Rabbani, S., El-Tanani, M., Janić, M., Janež, A., Tanani, Y., Hajeer, E., Matalka, M., Rizzo, M. & Kumar, R. (2025). Modulating Metabolic Health and Physiological Functions: Advances in Dietary Interventions Targeting Gut Microbiota. *Therapeutics and Clinical Risk Management*, **Volume 21**, 1701-1733. <https://doi.org/10.2147/tcrm.s540144>
- Ranjha, M. M. A. N., Shafique, B., Batool, M., Kowalczewski, P. L., Shehzad, Q., Usman, M., Manzoor, M. F., Zahra, S. M., Yaqub, S. & Aadil, R. M. (2021). Nutritional and health potential of probiotics: A review. *Applied Sciences* (Switzerland), **11**(23), 11204. <https://doi.org/10.3390/app112311204>
- Rasaei, N., Heidari, M., Esmaeili, F., Khosravi, S., Baeeri, M., Tabatabaei-Malazy, O. & Emamgholipour, S. (2024). The effects of prebiotic, probiotic or synbiotic supplementation on overweight/obesity indicators: an umbrella review of the trials' meta-analyses. *Frontiers in Endocrinology*, **15**, 1277921. <https://doi.org/10.3389/fendo.2024.1277921>
- Ridaura, V. K., Faith, J. J., Rey, F. E., Cheng, J., Duncan, A. E., Kau, A. L., Griffin, N. W., Lombard, V., Henrissat, B., Bain, J. R., Muehlbauer, M. J., Ilkayeva, O., Semenkovich, C. F., Funai, K., Hayashi, D. K., Lyle, B. J., Martini, M. C., Ursell, L. K., Clemente, J. C., Van Treuren, W., Walters, W. A., Knight, R., Newgard, C. B., Heath, A. C. & Gordon, J. I. (2013). Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice. *Science*, **341**(6150), 1241214. <https://doi.org/10.1126/science.1241214>
- Riedel, S., Pfeiffer, C., Johnson, R., Louw, J. & Muller, C. J. F. (2022). Intestinal Barrier Function and Immune Homeostasis Are Missing Links in Obesity and Type 2 Diabetes Development. *Frontiers in Endocrinology*, **12**, 833544. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.833544>
- Saad, M. J. A., Santos, A. & Prada, P. O. (2016). Linking Gut Microbiota and Inflammation to Obesity and Insulin Resistance. *Physiology*, **31**(4), 283-293. <https://doi.org/10.1152/physiol.00041.2015>
- Saadati, S., Naseri, K., Asbaghi, O., Yousefi, M., Gholipour, E. & de Courten, B. (2024). Beneficial effects of the probiotics and synbiotics supplementation on anthropometric indices and body composition in adults: A systematic review and meta-analysis. *Obesity Reviews*, **25**(3), e13667. <https://doi.org/10.1111/obr.13667>
- Santanasto, A. J., Goodpaster, B. H., Kritchevsky, S. B., Miljkovic, I., Satterfield, S., Schwartz, A. V., Cummings, S. R., Boudreau, R. M., Harris, T. B. & Newman, A. B. (2016). Body Composition Remodeling and Mortality: The Health Aging and Body Composition Study. *The Journals of Gerontology Series A*, **72** (4), 513-519. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw163>
- Sergeev, I. N., Aljutaily, T., Walton, G. & Huarte, E. (2020). Effects of Synbiotic Supplement on Human Gut Microbiota, Body Composition and Weight Loss in Obesity. *Nutrients*, **12**(1), 222. <https://doi.org/10.3390/nu12010222>
- Shin, S. M., Park, J.-S., Kim, S. B., Cho, Y. H., Seo, H. & Lee, H. S. (2024). A 12-Week, single-centre, randomised, double-blind, placebo-controlled, parallel-design clinical trial for the evaluation of the efficacy and safety of *Lactiplantibacillus plantarum* SKO-001 in reducing body fat. *Nutrients*, **16**(8), 1137. <https://doi.org/10.3390/nu16081137>
- Shou, J., Chen, P. & Xiao, W. (2020). Mechanism of increased risk of insulin resistance in aging skeletal muscle. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, **12**(1), 14 (2020). <https://doi.org/10.1186/s13098-020-0523-x>
- Simon, M.-C., Sina, C., Ferrario, P. G. & Daniel, H. (2023). Gut microbiome analysis for personalized nutrition: The state of science. *Molecular Nutrition & Food Research*, **67**(1), 2200476. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202200476>
- Stenman, L. K., Lehtinen, M. J., Meland, N., Christensen, J. E., Yeung, N., Saarinen, M. T., Courtney, M., Burcelin, R., Lähdeaho, M., Linros, J., Apter, D., Scheinin, M., Smerud, H. K., Rissanen, A. & Lahtinen, S. (2016). Probiotic with or Without Fiber Controls Body Fat Mass, Associated with Serum Zonulin, in Overweight and Obese Adults—Randomized Controlled Trial. *EBioMedicine*, **13**, 190-200. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.10.036>
- Sung, H. K., Youn, S. J., Choi, Y., Eun, S. W. & Shin, S. M. (2023). Body fat reduction effect of *Bifidobacterium breve* B-3: A randomized, double-blind, placebo comparative clinical trial. *Nutrients*, **15**(1), 28. <https://doi.org/10.3390/nu15010028>
- Tamés, H., Cuesta, I., Ruiz, L. & Ruas-Madiedo, P. (2025). Biofortification of fermented foods with riboflavin-overproducing *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* strains. *International Journal of Food Microbiology*, **436**, 111210. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2025.111210>
- Thomas, M. K., Nikooinnejad, A., Bray, R., Cui, X., Wilson, J., Duffin, K., Milicevic, Z., Haupt, A. & Robins, D. A. (2020). Dual GIP and GLP-1 Receptor Agonist Tirzepatide Improves Beta-cell Function and Insulin Sensitivity in Type 2 Diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, **106**(2), 388-396. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa863>
- Tilg, H., Zmora, N., Adolph, T. E. & Elinav, E. (2020). The intestinal microbiota fuelling metabolic inflammation. *Nature Reviews Immunology*, **20**(1), 40–54. <https://doi.org/10.1038/s41577-019-0198-4>
- Toda, K., Yamauchi, Y., Tanaka, A., Kuhara, T., Odamaki, T., Yoshimoto, S. & Xiao, J. Z. (2020). Heat-killed *bifidobacterium breve* B-3 enhances muscle functions: Possible involvement of increases in muscle mass and

- mitochondrial biogenesis. *Nutrients*, **12**(1), 2019. <https://doi.org/10.3390/nu12010219>
- Tomooka, S., Oishi, E., Asada, M., Sakata, S., Hata, J., Chen, S., Honda, T., Suzuki, K., Watanabe, H., Murayama, N., Wada, N., Kitazono, T. & Ninomiya, T. (2022). Serum Lipopolysaccharide-binding Protein Levels and the Incidence of Metabolic Syndrome in a General Japanese Population: the Hisayama Study. *Journal of Epidemiology*, **34**(1), 1-7. <https://doi.org/10.2188/jea.je20220232>
- Vernocchi, P., Del Chierico, F. & Putignani, L. (2020). Gut Microbiota Metabolism and Interaction with Food Components. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**(10), 3688. <https://doi.org/10.3390/ijms21103688>
- Vetrani, C., Di Nisio, A., Paschou, S. A., Barrea, L., Muscogiuri, G., Graziadio, C., Savastano, S., Colao, A. & on behalf of the OPERA Group. (2022). From gut microbiota through low-grade inflammation to obesity: Key players and potential targets. *Nutrients*, **14**(10), 2103. <https://doi.org/10.3390/nu14102103>
- Wang, J. & Ji, H. (2018). Influence of Probiotics on Dietary Protein Digestion and Utilization in the Gastrointestinal Tract. *Current Protein and Peptide Science*, **20**(2), 125-131. <https://doi.org/10.2174/1389203719666180517100339>
- Wang, K., Lai, W., Min, T., Wei, J., Bai, Y., Cao, H., Guo, J. & Su, Z. (2024). The Effect of Enteric-Derived Lipopolysaccharides on Obesity. *International Journal of Molecular Sciences*, **25**(8), 4305. <https://doi.org/10.3390/ijms25084305>
- Wang, Y., Dilidaxi, D., Wu, Y., Sailike, J., Sun, X. & Nabi, X. hua. (2020). Composite probiotics alleviate type 2 diabetes by regulating intestinal microbiota and inducing GLP-1 secretion in db/db mice. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, **125**, 109914. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.109914>
- Wu, W., Kaicen, W., Bian, X., Yang, L., Ding, S., Li, Y., Li, S., Zhuge, A. & Li, L. (2023). *Akkermansia muciniphila* alleviates high-fat-diet-related metabolic-associated fatty liver disease by modulating gut microbiota and bile acids. *Microbial Biotechnology*, **16**(10), 1924-1939. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14293>
- Yadav, R., Puniya, A. K. & Shukla, P. (2016). Probiotic properties of *Lactobacillus plantarum* RYPR1 from an indigenous fermented beverage Raabadi. *Frontiers in Microbiology*, **7**, 1683. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01683>
- Yan, S., Chen, L., Li, N., Wei, X., Wang, J., Dong, W., Wang, Y., Shi, J., Ding, X. & Peng, Y. (2024). Effect of *Akkermansia muciniphila* on pancreatic islet β -cell function in rats with prediabetes mellitus induced by a high-fat diet. *Bioresources And Bioprocessing*, **11**(1), 51 (2024). <https://doi.org/10.1186/s40643-024-00766-4>
- Yang, M., Zheng, J., Zong, X., Yang, X., Zhang, Y., Man, C. & Jiang, Y. (2021). Preventive Effect and Molecular Mechanism of *Lactobacillus rhamnosus* JL1 on Food-Borne Obesity in Mice. *Nutrients*, **13**(11), 3989. <https://doi.org/10.3390/nu13113989>
- Yeh, W., Hsu, Y., Ho, C., Ho, H., Kuo, Y., Tsai, S., Huang, C. & Lee, M. (2022). *Lactobacillus plantarum* PL-02 Supplementation Combined with Resistance Training Improved Muscle Mass, Force, and Exercise Performance in Mice. *Frontiers in Nutrition*, **9**, 896503. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.896503>
- Zhang, S., Zhang, Y., Li, J., Wang, X., Zhang, M., Du, M., Jiang, W. & Li, C. (2024). Butyrate and Propionate are Negatively Correlated with Obesity and Glucose Levels in Patients with Type 2 Diabetes and Obesity. *Diabetes Metabolic Syndrome and Obesity*, **Volume 17**, 1533-1541. <https://doi.org/10.2147/dms0.s434499>
- Zhao, Y., Liu, J., Hao, W., Zhu, H., Liang, N., He, Z., Ying, K., Ma, K. Y. & Chen, Z. (2017). Structure-Specific Effects of Short-Chain Fatty Acids on Plasma Cholesterol Concentration in Male Syrian Hamsters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **65**(50), 10984-10992. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04666>