

Universidad Europea De Valencia

Facultad De Ciencias De La Salud



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

**Título: RELACIÓN ENTRE ALIMENTACIÓN, EJERCICIO
FÍSICO Y MICROBIOTA**

Autor: FRANCISCO DELGADO MARTÍN

Tutor: BERNARDO JOSÉ CUESTAS CALERO

Curso 2024 – 2025

RESUMEN

Este trabajo revisa la relación entre microbiota intestinal, alimentación y ejercicio físico, un ámbito que ha cobrado gran interés en los últimos años por su influencia tanto en la salud como en el rendimiento deportivo. La microbiota, formada por millones de microorganismos, cumple funciones clave en la digestión, la inmunidad y el metabolismo, de modo que su equilibrio puede favorecer la salud o, en caso contrario, aumentar el riesgo de enfermedad.

El objetivo principal fue analizar cómo la dieta y la actividad física modulan la composición y función de la microbiota, así como sus implicaciones en la prevención de patologías crónicas y en el ámbito deportivo. Para ello, se realizó una revisión narrativa con apoyo en bases de datos como PubMed, Scopus, y Google Scholar, incluyendo estudios publicados entre 2010 y 2025 en inglés y español. Tras el proceso de selección, se analizaron 55 artículos.

Los hallazgos muestran que la dieta es el factor más determinante: los patrones ricos en fibra, alimentos fermentados y grasas insaturadas se asocian con mayor diversidad bacteriana y producción de ácidos grasos de cadena corta, mientras que la dieta occidental se vincula con disbiosis y riesgo metabólico. El ejercicio moderado y sostenido también favorece la abundancia de bacterias beneficiosas y metabolitos útiles, aunque el sobreentrenamiento puede tener efectos adversos sobre la barrera intestinal.

La combinación de dieta saludable y actividad física genera un efecto sinérgico, maximizando la disponibilidad de metabolitos microbianos y mejorando la capacidad de recuperación y la resistencia en deportistas. A nivel práctico, el cuidado de la microbiota emerge como una herramienta prometedora tanto para la salud pública como para la personalización de programas de nutrición y entrenamiento.

Palabras clave: microbiota intestinal, dieta, ejercicio físico, salud, rendimiento deportivo.

ABSTRACT

This study reviews the relationship between gut microbiota, diet, and physical exercise, a research area that has gained increasing attention in recent years due to its influence on both health and sports performance. The gut microbiota, composed of trillions of microorganisms, plays a key role in digestion, immunity, and metabolism. Its balance promotes health, while dysbiosis can increase the risk of disease.

The main objective was to analyze how diet and physical activity modulate the composition and function of the gut microbiota, as well as their implications in the prevention of chronic diseases and athletic performance. A narrative review was conducted using databases such as PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, including studies published between 2010 and 2025 in English and Spanish. After the selection process, 55 articles were analyzed.

Findings indicate that diet is the most decisive factor: patterns rich in fiber, fermented foods, and unsaturated fats are associated with greater bacterial diversity and increased production of short-chain fatty acids, while the Western diet is linked to dysbiosis and metabolic risks. Regular, moderate exercise also supports the growth of beneficial bacteria and the production of useful metabolites, whereas overtraining may compromise intestinal barrier function and promote systemic inflammation.

The combined effect of healthy eating and consistent exercise appears to be synergistic, enhancing microbial metabolite availability and contributing to improved recovery and endurance in athletes. In practical terms, maintaining gut microbiota health emerges as a promising strategy both for chronic disease prevention in the general population and for personalized nutrition and training programs in sports.

Keywords: gut microbiota, diet, physical exercise, health, sports performance.

INDICE

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 1.1 | Relevancia en salud y deporte..... | 6 |
| 2. | MARCO TEÓRICO..... | 8 |
| 2.1 | La microbiota intestinal y sus funciones..... | 8 |
| 2.2 | Influencia de la alimentación sobre microbiota intestinal..... | 11 |
| 2.3 | Impacto de la actividad física sobre microbiota..... | 14 |
| 2.4 | Interacción dieta, ejercicio y microbiota..... | 16 |
| 2.5 | Repercusión en salud y rendimiento físico..... | 18 |
| 2.6 | Aspectos emergentes y perspectivas actuales..... | 20 |
| 2.7 | Antecedentes de investigaciones previas relevantes..... | 22 |
| 3. | OBJETIVOS..... | 23 |
| 4. | HIPÓTESIS..... | 24 |
| 5. | METODOLOGÍA..... | 24 |
| 5.1 | Tipo de estudio..... | 24 |
| 5.2 | Estrategia de búsqueda..... | 24 |
| 5.3 | Criterios de inclusión y exclusión..... | 25 |
| 5.4 | Proceso de selección de artículos..... | 25 |
| 6. | RESULTADOS..... | 26 |
| 6.1 | Presentación de los hallazgos en la literatura..... | 27 |
| 6.2 | Influencia de la alimentación sobre la microbiota intestinal..... | 27 |
| 6.3 | Impacto del ejercicio físico sobre la microbiota..... | 29 |
| 6.4 | Interacción dieta – ejercicio – microbiota..... | 31 |
| 6.5 | Repercusiones en salud y rendimiento físico..... | 32 |
| 6.6 | Aspectos emergentes y perspectivas actuales..... | 35 |
| 6.7 | Antecedentes de investigaciones previas relevantes..... | 37 |

| | | |
|----|---------------------------------|----|
| 7. | DISCUSIÓN..... | 38 |
| 8. | CONCLUSIONES | 41 |
| 9. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 43 |

1.INTRODUCCIÓN

El microbioma intestinal ha sido uno de los temas más relevantes en la investigación científica en las últimas décadas. La microbiota intestinal es un conjunto complejo y dinámico de trillones de microorganismos, incluidos bacterias, hongos, virus y levaduras, que están involucrados en el control de varias funciones fisiológicas y, por lo tanto, tienen un impacto directo en la salud humana.

Además de afectar la digestión, también influye en el metabolismo energético, el control del sistema inmunológico, la prevención de enfermedades y la regulación de situaciones inflamatorias crónicas (Haro et al., 2016). Dado que se ha establecido la relevancia de este sistema, los grupos científicos han comenzado a analizar cómo situaciones específicas (como la dieta o la actividad física) influyen en la composición de nuestra microbiota intestinal.

Así, tenemos una complicada interacción entre nuestra microbiota, la dieta y el ejercicio, y mientras que nuevas investigaciones sugieren que el ejercicio y la dieta pueden impactar la microbiota (promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas e induciendo disbiosis en el intestino, lo que puede asociarse con enfermedades metabólicas y gastrointestinales (Everard et al., 2013).

1.1. RELEVANCIA EN SALUD Y DEPORTE

La comprensión de la interacción entre la alimentación, el ejercicio y las bacterias intestinales se ha vuelto crucial en la salud y los deportes. Desde el punto de vista de la salud, una microbiota equilibrada está vinculada con el control del metabolismo energético, con la prevención de procesos inflamatorios crónicos o con la protección contra patologías metabólicas como la obesidad, la diabetes tipo 2 o el síndrome metabólico (Valdes et al., 2018).

En el entorno deportivo, estas investigaciones implican los medios para mejorar de manera segura el rendimiento y la recuperación posterior del deportista. Las investigaciones que hemos revisado hasta ahora indican que la dieta y el ejercicio son factores que causan alteraciones en la microbiota intestinal, su composición y función, lo que puede resultar en efectos inmediatos sobre la disponibilidad de nutrientes, las respuestas del sistema inmunológico y la actitud hacia la capacidad física (Clarke et al., 2014).

Por ejemplo, una microbiota beneficiosa con riqueza y diversidad conduce a la síntesis de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como el butirato, que promueve la función intestinal, disminuye la inflamación y proporciona a las células del colon una fuente adicional de energía, lo cual es crucial cuando la demanda de energía del cuerpo es alta (Clarke et al., 2013).

Como consecuencia de esta variación, otras investigaciones han identificado dos conjuntos separados de poblaciones microbianas entre atletas e individuos sedentarios. Los atletas tienen especies bacterianas más diversas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos y el mantenimiento del peso

(Barton et al., 2018). Estos hallazgos enfatizan el papel del ejercicio como modulador, y posiblemente protagonista, del ecosistema microbiano intestinal.

Así, la dieta tiene una influencia considerable y complementaria a la actividad física, ya que una dieta rica en fibra, probióticos y compuestos bioactivos combinada con el ejercicio físico aumenta los impactos positivos de estos dos parámetros en la microbiota durante tanto el ejercicio como la salud y el rendimiento (Mohr et al., 2020).

En esta subsección también discutiremos el impacto del sobreentrenamiento y las dietas deficientes en la salud intestinal de los atletas. El intestino puede volverse más permeable y, por lo tanto, resultar en más inflamación en todo el cuerpo humano por factores como la actividad extrema en relación con la duración y la intensidad del entrenamiento físico, o incluso la dieta incorrecta, lo que lleva a la fatiga o al riesgo de lesiones (Barton et al., 2018).

Por lo tanto, adquirir buenos hábitos nutricionales y de actividad física puede resultar en un efecto beneficioso sobre el sistema microbiano, previniendo los desequilibrios que caracterizan los deportes de alto rendimiento. (David et al., 2014).

La investigación sobre microbiota, dieta y ejercicio y sus interacciones proporcionaría resultados de interés como la participación en la mejora de la salud pública; la prevención de patologías crónicas; o la aplicación directa en ciencias del deporte. El conocimiento de cómo interactúan puede usarse para desarrollar enfoques nutricionales y de entrenamiento personalizados para optimizar el rendimiento, la recuperación y/o reducir el potencial de lesiones (Mohr et al., 2020).

2. MARCO TEÓRICO

2.1 LA MICROBIOTA INTESTINAL Y SUS FUNCIONES

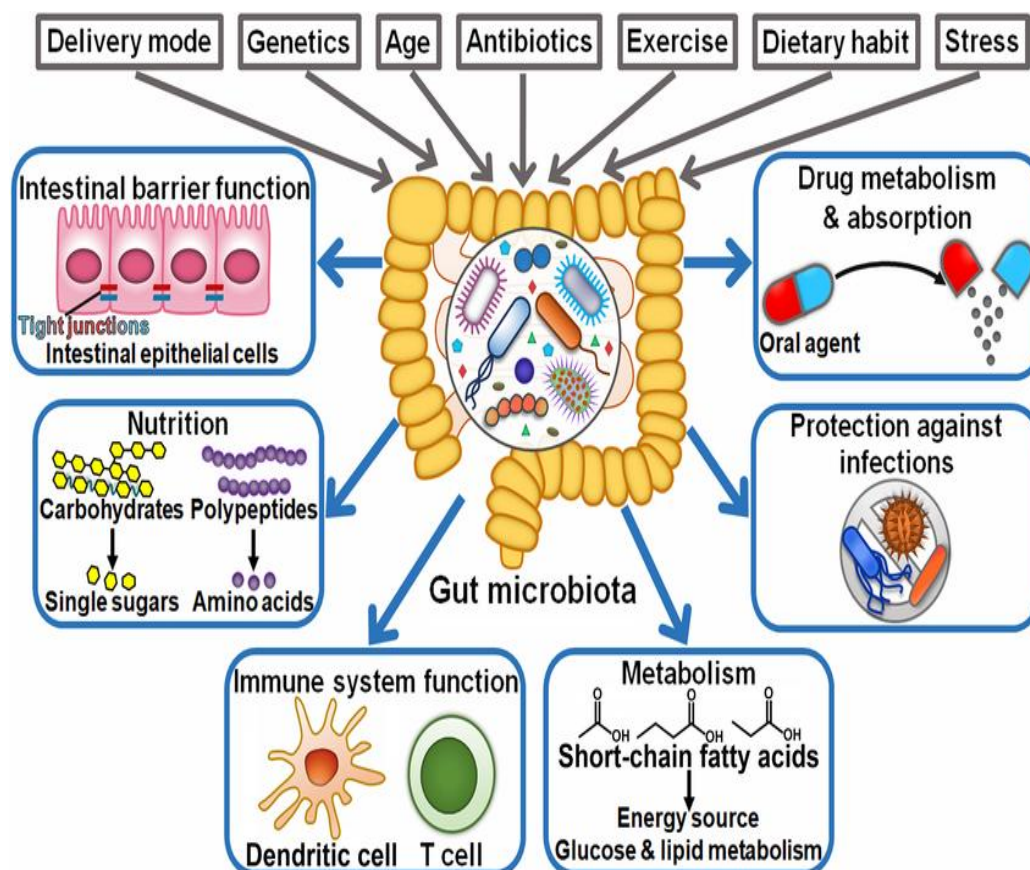


Imagen 1. Funciones clave de la microbiota intestinal: Diagrama claro y detallado sobre integridad de la barrera intestinal, metabolismo, sistema inmune y más.

2.1.1 Definiciones de microbiota y microbioma

El conjunto de microorganismos vivos que habitan en el tracto intestinal humano se conoce como microbiota intestinal, en cambio, el microbioma, refiere al conjunto de estos microorganismos vivos, las moléculas y productos metabólicos producidos, y el entorno en el que viven, englobando un alcance mayor que la microbiota. (Berg et al., 2020)

2.1.2 Composición y organización ecológica

En adultos saludables, los filos Firmicutes y Bacteroidetes predominan en la flora intestinal, pudiendo representar más del 90% de las bacterias del intestino, y por otros filos menos dominantes como Proteobacteria, Actinobacteria y Verrucomicrobia (Magne et al., 2020). Más allá de la taxonomía, la estructura, riqueza y uniformidad de la comunidad están asociadas con la estabilidad del sistema,

resistencia a la colonización y resiliencia a perturbaciones como cambios dietéticos o antibióticos. En este contexto ecosistémico, puede haber evidencia de *Faecalibacterium prausnitzii* y *Roseburia*, cepas bacterianas productoras de butirato que están asociadas con estados más eubióticos, mientras que el crecimiento por encima de lo normal de *Proteobacteria* se sugiere como una indicación de disbiosis e inflamación (Jiang et al., 2016)

2.1.3 Funciones fisiológicas clave

Las funciones de la microbiota se organizan en tres grupos principales: metabólico, trófico y de barrera e inmune, que incluyen:

a) Metabolismo: La fermentación de fibras y carbohidratos no digeribles produce ácidos grasos de cadena corta (AGCC) entre los cuales se encuentran el acetato, propionato y butirato. El butirato es la principal fuente de energía para los colonocitos, contribuyendo a su vez a la preservación de la integridad epitelial, el control de la inflamación y el equilibrio de agua y electrolitos (Facchin et al., 2024). Además, la microbiota intestinal también está involucrada en la conversión de ácidos biliares, produciendo moléculas secundarias con un papel de señalización, así como en la conversión de triptófano en indoles para activar el receptor AHR, con implicaciones sistémicas (Liu et al., 2020).

b) Rol trófico y de barrera. Los productos metabólicos producidos por la microbiota, incluido el butirato, promueven la síntesis de proteínas de unión estrecha y la producción de moco que contribuye al mantenimiento de la integridad de la barrera intestinal y a la reducción de la migración bacteriana. Para este fin, la bacteria mucinolítica que habita en el moco, *Akkermansia muciniphila*, que favorece el recambio de mucina y mantiene el equilibrio de la barrera intestinal, también está positivamente relacionada con la regulación del metabolismo y el peso corporal (Depommier et al., 2019).

c) Rol inmunomodulador. La microbiota tiene un papel fundamental en la configuración no solo del sistema inmunológico innato y adaptativo, sino también en la modulación de la inflamación mediante metabolitos, incluidos los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), y ácidos biliares secundarios. En particular, el butirato promueve la diferenciación de linfocitos T reguladores e induce citoquinas antiinflamatorias; a nivel sistémico, las señales derivadas del huésped intestinal actúan en el control de las vías metabólicas e incluso en los circuitos neuroendocrinos (Silva et al., 2020).

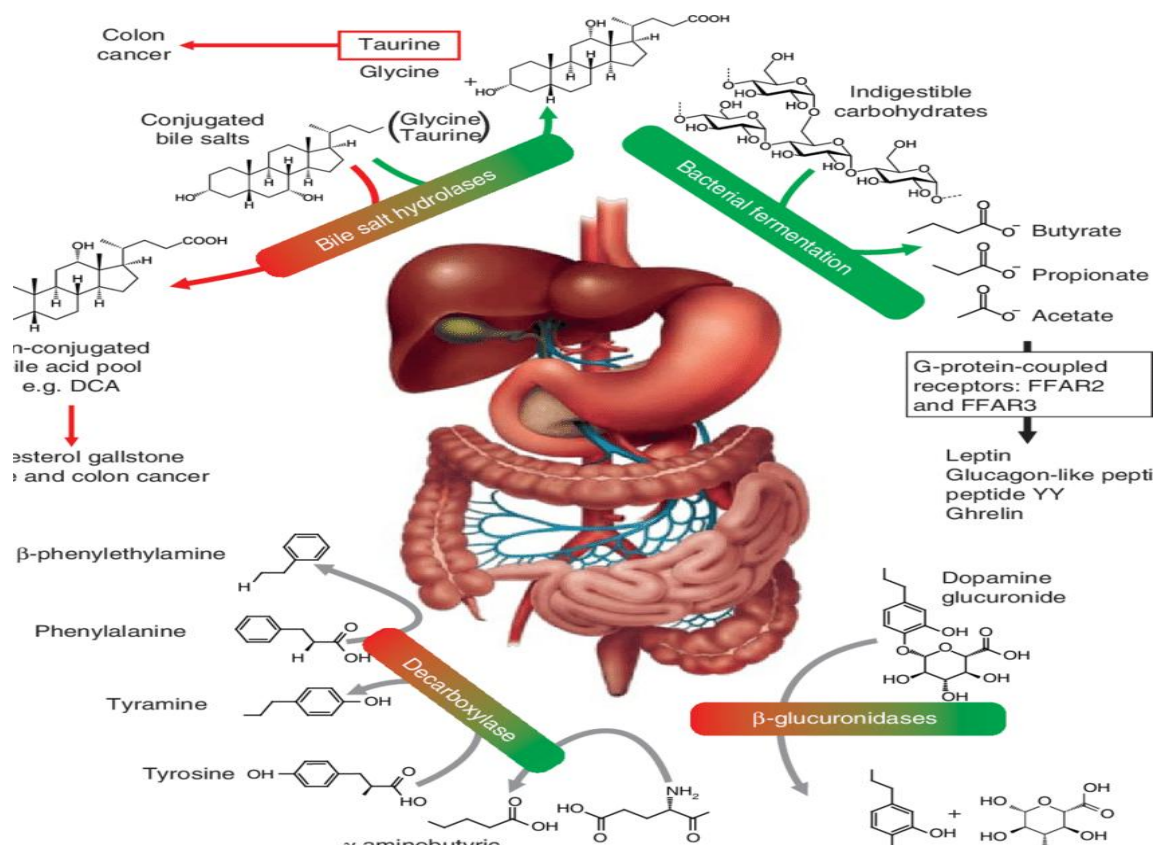


Imagen 2. Metabolización y funciones fisiológicas: Representación esquemática del papel de los ácidos biliares, fermentación y enzimas microbianas.

2.1.4 Disbiosis: determinantes y características del estudio

La alteración de la cantidad y calidad de las bacterias en la comunidad bacteriana (llamada disbiosis) está asociada con el inicio de enfermedades metabólicas, inflamación y enfermedades gastrointestinales (GI). Sin embargo, en la actualidad se emplea la relación Firmicutes/Bacteroidetes para interpretar el estado eubiótico y disbiótico, aunque hay controversia en su evaluación y está sujeta a la persona individual (Wu et al., 2011).

En estudios humanos, la secuenciación de ARN 16S (para proporcionar un método rentable para el perfil taxonómico) y la metagenómica de escopeta (para permitir una identificación más detallada a nivel de especie o cepa, así como la estimación de la capacidad funcional) son las metodologías más comúnmente utilizadas. Mientras que la escopeta proporciona más resolución funcional y detección de taxones de baja abundancia, el 16S es valioso para el precribado o cuando se consideran tejidos específicos; dependiendo la decisión de los objetivos del trabajo, el tipo de muestra y los recursos (Durazzi et al., 2021). En contraste, la metabolómica en heces o plasma representa el "fenotipo químico" de la interacción huésped-microbiota y apoya la integración de la composición taxonómica y la función (Vila et al., 2024).

2.2 INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN SOBRE MICROBIOTA INTESTINAL

La microbiota intestinal está principalmente regulada por la dieta. Los cambios a corto y largo plazo en la forma en que comemos pueden remodelar la estructura y actividad de las bacterias de la microbiota o preservar perfiles ecológicos asociados con un conjunto específico de funciones inmunes y metabólicas, pudiendo influir estos efectos dietéticos en la composición microbiana, la producción de metabolitos como los AGCC, el metabolismo de ácidos biliares y la autorrenovación dentro del intestino. (David et al. 2014).

2.2.1 El efecto de los macronutrientes; carbohidratos, proteínas y grasas

Carbohidratos fermentables y fibra. El sustrato primario para la fermentación bacteriana colónica está compuesto por fibras dietéticas y almidones resistentes. El butirato es un sustrato trófico para los colonocitos, tiene un efecto positivo en las uniones estrechas y posee efectos antiinflamatorios e inmunomoduladores (Liu et al., 2020). Varios ensayos y revisiones han indicado que el consumo de fibras como fructanos tipo inulina o arabinoxilanos son importantes para el crecimiento de *Bifidobacterium* y en algunos casos *Roseburia* y *Faecalibacterium* con un aumento en la producción de AGCC en humanos. No obstante, la magnitud de esta respuesta puede variar en función de la composición microbiana previa de cada individuo, lo que sugiere que una dieta con diversidad de fibras resulta más eficaz que el consumo elevado de un único tipo (Birkeland et al., 2020).

Proteínas. Una dieta alta en proteínas y baja en carbohidratos y fibras puede introducir diferentes modificaciones, con un aumento en metabolitos perjudiciales y una caída en el butirato (Russell et al., 2011).

Grasas. La naturaleza y el nivel de grasa en la dieta condicionan el perfil de ácidos biliares y la dominancia de cierto grupo de bacterias. La alta ingesta de grasa animal en la dieta de los humanos se acompaña de un mayor recuento de microorganismos tolerantes a los ácidos biliares y un aumento en el metabolismo de un fenotipo proinflamatorio. Por el contrario, los ácidos grasos omega-3 están correlacionados con bacterias de mayor desulfatación (Watson et al., 2018) así como con una mayor diversidad microbiana (Menni et al., 2017).

2.2.2 Alimentos funcionales; probióticos, prebióticos, simbióticos y postbióticos

Los probióticos se definen como microorganismos vivos que cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud del huésped (Lambrecht et al., 2012). Los prebióticos, en contraste, son sustratos que utilizados selectivamente por los microorganismos del huésped confieren un beneficio para la salud (Vulevic et al., 2013). Cuando los dos se combinan en el mismo producto, se designan simbióticos, y los productos basados en microorganismos inactivados o sus componentes que

demuestran un beneficio para la salud se denominan postbióticos (Wastyk et al., 2021). En humanos, la ingesta de fibra (en particular fructanos tipo inulina y otros prebióticos) se ha encontrado que promueve el crecimiento de *Bifidobacterium* y mejora la producción de AGCC, y tanto los probióticos como los alimentos fermentados pueden ser ventajosos para una microbiota más diversa y la posterior modulación de la respuesta inmune, viniendo determinado por el tipo de cepa y la cantidad de dosis (Holscher, 2017).

2.2.3. Patrón dietético: Mediterráneo, Occidental, basado en plantas, bajo en FODMAP y cetogénico

La dieta es uno de los factores que más condiciona la composición y el funcionamiento de la microbiota intestinal. Dependiendo del tipo de alimentos que se consuman con mayor frecuencia, el ecosistema bacteriano puede favorecer la diversidad y la producción de metabolitos beneficiosos o, por el contrario, reducirse y dar paso a perfiles asociados a inflamación y disbiosis. En la literatura científica se han descrito distintos patrones dietéticos con efectos muy contrastados sobre la microbiota, entre los que destacan la dieta mediterránea, el patrón occidental, las dietas basadas en plantas, las dietas bajas en FODMAP y la dieta cetogénica (Valdes et al., 2018)

Dieta mediterránea: La dieta mediterránea se ha consolidado como un modelo de referencia en estudios de microbiota. El alto consumo de frutas, verduras, legumbres, granos enteros y aceite de oliva, junto con la inclusión frecuente de alimentos fermentados, se asocia con un aumento de bacterias beneficiosas y una mayor diversidad microbiana (De Filippis et al., 2016). Se han identificado incrementos en especies productoras de butirato, como *Faecalibacterium prausnitzii*, vinculadas a efectos antiinflamatorios y protectores de la mucosa intestinal (Ghosh et al., 2020). Ensayos de intervención confirman que seguir una dieta mediterránea durante varias semanas produce cambios medibles en la composición bacteriana, incluyendo mayor abundancia de *Roseburia* y reducción de marcadores proinflamatorios (Haro et al., 2016).

Patrón occidental: En el extremo opuesto, el patrón occidental, caracterizado por alto consumo de azúcares simples, grasas saturadas, carnes procesadas y ultraprocesados, se relaciona con menor diversidad bacteriana y mayor presencia de especies proinflamatorias como *Bacteroides* o *Alistipes* (David et al., 2014). Además, la exposición crónica a aditivos y emulsionantes presentes en este tipo de alimentos puede dañar la integridad de la barrera intestinal y favorecer procesos inflamatorios, además de posibles enfermedades metabólicas o cardiovasculares. (Chassaing et al., 2015).

Dieta basada en plantas: Las dietas centradas en alimentos de origen vegetal, ricas en fibra dietética y polifenoles, generan un entorno favorable para bacterias productoras de butirato como *Coprococcus* y *Faecalibacterium* (Menni et al., 2017). Estas bacterias producen ácidos grasos de cadena corta con efectos positivos sobre la inflamación y la energía celular. Asimismo, estudios en poblaciones vegetarianas y veganas muestran mayor abundancia de especies beneficiosas y una reducción de

microorganismos asociados con procesos inflamatorios (Tomova et al., 2019). No obstante, algunos trabajos han advertido que la exclusión prolongada de ciertos grupos de alimentos puede alterar el equilibrio entre bacterias y hongos intestinales, lo que abre nuevas líneas de investigación (Clarke et al., 2014).

Dietas bajas en FODMAP: Las dietas bajas en FODMAP han demostrado ser eficaces para disminuir síntomas gastrointestinales en pacientes con síndrome de intestino irritable. Su restricción de carbohidratos fermentables reduce la producción de gases y la sensación de hinchazón, aunque también se ha observado una disminución significativa de *Bifidobacterium* (Staudacher et al., 2017). Para compensar este efecto, se recomienda considerar la inclusión de probióticos o prebióticos, con el fin de preservar la diversidad bacteriana a largo plazo (Staudacher et al., 2017).

Dietas cetogénicas y variantes: Las dietas cetogénicas, basadas en una reducción drástica de carbohidratos y un aumento en la ingesta de grasas, modifican la microbiota intestinal al limitar la disponibilidad de sustratos fermentables. Como resultado, la producción de ácidos grasos de cadena corta puede reducirse, afectando negativamente a la diversidad bacteriana (Ang et al., 2020). Sin embargo, el impacto no es uniforme y depende del tipo de grasas consumidas y de la cantidad de fibra no digerible incluida en la dieta (Cronin, 2021). En algunos contextos clínicos se han descrito beneficios metabólicos, aunque su aplicación a largo plazo sigue siendo objeto de debate.

2.2.4 Compuestos bioactivos y aditivos: Polifenoles, alimentos fermentados, edulcorantes y emulsionantes

Polifenoles. Estos compuestos tienen la capacidad de una acción dual debido a sus actividades antimicrobianas selectivas y efectos similares a los prebióticos. Además, se convierten en metabolitos bioactivos (por ejemplo, urolitinas y ácidos fenólicos) que ejercen efectos sistémicos. Revisiones recientes han señalado su acción beneficiosa al inducir *Akkermansia muciniphila*, *Bifidobacterium* y *Lactobacillus* y al modular la barrera intestinal y los mecanismos inflamatorios (Rodríguez-Daza & de Vos, 2022).

Alimentos fermentados. Un ensayo cruzado aleatorizado de 10 semanas también ha informado que una dieta enriquecida con productos fermentados aumentó la diversidad microbiana y redujo múltiples citocinas inflamatorias estrechamente vinculadas al estado de salud del huésped en adultos sanos, proporcionando evidencia de la efectividad de esta estrategia dietética para modular la microbiota (Wastyk et al., 2021).

Edulcorantes no calóricos (ENC). En un ensayo controlado aleatorizado de 120 individuos, se encontró que el consumo de sacarina, sucralosa, stevia o aspartame generaba una microbiota intestinal alterada en cada sujeto y una respuesta glucémica de esta estructura microbiana. Estas observaciones denotan un enfoque personalizado y cauteloso hacia su ingesta (Suez et al., 2022).

Emulsionantes. Los modelos han demostrado que los compuestos, como ejemplo carboximetilcelulosa y polisorbato-80, parecen afectar la microbiota intestinal y reducir la integridad de la capa de moco, así como fomentar eventos inflamatorios y metabólicos. (Rousta et al., 2021).

2.3 ACTIVIDAD FÍSICA Y LA MICROBIOTA

La actividad física se considera uno de los reguladores más potentes de la microbiota intestinal. Varios estudios en humanos han demostrado cómo los ejercicios físicos rutinarios (especialmente de intensidad moderada) modifican la estructura y funciones de este ecosistema, y estos cambios también pueden estar orientados a la salud, la funcionalidad del sistema inmunológico y el rendimiento deportivo (Mohr et al., 2020).

2.3.1 Efectos del ejercicio aeróbico, anaeróbico y de fuerza

Se han investigado los efectos del entrenamiento aeróbico, anaeróbico y de fuerza, así como de los ejercicios de resistencia. El ejercicio aeróbico ha demostrado ser efectivo en la modulación de la diversidad bacteriana, un índice importante de la salud intestinal. Clarke et al. (2014) encontraron que la mayoría de las especies de estas bacterias sintetizadoras de AGCC eran más comunes en jugadores de rugby, quienes tenían una microbiota mucho más diversa y albergaban más bacterias sintetizadoras de AGCC que los individuos que llevaban un estilo de vida sedentario. Encontramos en estos metabolitos, incluyendo el butirato, propiedades antiinflamatorias y energéticas que podrían ser beneficiosas para la salud y el rendimiento durante los deportes.

El trabajo de fuerza y anaeróbico, de manera similar, induce cambios, pero de una naturaleza diferente a la anterior. Barton et al. (2018) encontraron que los atletas con altas demandas energéticas requeridas para el ejercicio vigoroso mostraron una microbiota más diversa, así como una funcionalidad distinta y una mayor capacidad de metabolismo de aminoácidos y carbohidratos.

Estos hallazgos muestran que la práctica deportiva, la intensidad y los requisitos nutricionales impulsan una composición microbiana distinta.

2.3.2 Ejercicio moderado y diversidad bacteriana

La actividad física también se mostró relacionada con la riqueza y diversidad de especies bacterianas. El ejercicio físico moderado se considera el que más beneficia a la microbiota intestinal. En humanos, Estaki et al. (2016) encontraron que la actividad cardiorrespiratoria, más que vinculada con el nivel de adiposidad, estaba asociado con la diversidad microbiana, siendo las personas con alta capacidad aeróbica aquellas con poblaciones intestinales más diversas.

2.3.3 Sobreentrenamiento y su riesgo de disbiosis

En las últimas décadas, la evidencia acumulada ha apoyado una asociación inversa entre el ejercicio excesivo y la salud intestinal óptima. Se sabe que la actividad física moderada ejerce efectos beneficiosos en el mantenimiento de la homeostasis intestinal; sin embargo, la actividad física excesiva o de alta intensidad a largo plazo puede ejercer efectos perjudiciales. Karl et al. (2017) encontraron que los soldados sometidos a condiciones severas de entrenamiento militar sufrieron una disminución en la riqueza de la microbiota y un aumento de los marcadores de inflamación intestinal, lo que llevó a la conclusión de que la carga física excesiva podría contribuir a la disbiosis, la ruptura de la función de barrera y la inflamación sistémica anormal.

En la misma línea, (Clarke et al., 2014) señalaron que el estrés fisiológico causado por el entrenamiento exhaustivo puede dañar la barrera intestinal con la subsiguiente translocación bacteriana y el riesgo de infección gastrointestinal en atletas de élite. Este es el síndrome de "intestino permeable" o permeabilidad intestinal que representa uno de los mayores desafíos para la salud intestinal en situaciones de deportes de alto rendimiento.

2.3.4 Diferencias entre atletas de élite y la población sedentaria

Las comparaciones entre atletas y sujetos sedentarios muestran que la actividad física regular está correlacionada con una microbiota más diversa y funcional. Barton et al. (2018) encontraron que los atletas de élite tienen frecuencias más altas de especies bacterianas asociadas con la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) y la degradación de mucina, procesos que mejoran la barrera intestinal y pueden aumentar la eficiencia metabólica.

Por el contrario, la inactividad física conduce a una disminución en la diversidad microbiana intestinal y un aumento en las bacterias proinflamatorias, lo que a su vez se ha relacionado con el desarrollo de obesidad y síndrome metabólico (Monda et al., 2017). Esta dicotomía resalta la importancia de la actividad física como modulador de la salud intestinal y el equilibrio sistémico.

2.3.5 Implicaciones fisiológicas de la modulación microbiana inducida por el ejercicio

El ejercicio físico induce cambios positivos en la microbiota intestinal que repercuten en varias funciones del organismo. Entre los efectos más destacados se encuentra la mejora del metabolismo energético gracias a una mayor producción de ácidos grasos de cadena corta, lo que optimiza el uso de carbohidratos y grasas (Morrison & Preston, 2016). Asimismo, favorece una respuesta inmunológica más equilibrada al incrementar bacterias beneficiosas que reducen la inflamación local y sistémica (Clarke et al., 2014).

Estos ajustes también se relacionan con una mejor regulación del peso corporal y la sensibilidad a la insulina, lo que demuestra el papel de la microbiota en la composición corporal y el metabolismo (Allen et al., 2018). Además, el ejercicio fortalece la barrera intestinal y reduce la presencia de bacterias patógenas, aumentando la protección frente a infecciones y trastornos digestivos (Karl et al., 2017).

2.4 INTERACCIÓN ENTRE DIETA, EJERCICIO Y MICROBIOTA

La dieta también interactúa con la práctica deportiva para modular la microbiota intestinal: la relación entre dos pilares como la dieta y la práctica deportiva es esencial para modificar la microbiota intestinal. Los dos ingredientes actúan sobre la estructura y actividad del ecosistema intestinal de manera independiente, pero se espera que los efectos combinados de los dos elementos sobre las funciones intestinales sean más fuertes que cuando se abordan de manera independiente (Clarke et al., 2014).

Esta relación modifica la ecología bacteriana y afecta la producción de metabolitos bioactivos, la modulación de la respuesta inmune y el metabolismo del organismo, con reflejos inmediatos en la salud y la capacidad de rendimiento físico, encontrando consecuencias directas en la salud y la capacidad de rendimiento físico (Lensu & Pekkala, 2021).

2.4.1 La interacción complementaria entre una alimentación saludable y la actividad física

Los efectos beneficiosos del ejercicio físico se incrementan con una dieta diversa, que también contiene altos niveles de fibra, compuestos prebióticos, polifenoles y grasas insaturadas, como se informa en la literatura. Por ejemplo, una dieta alta en fibra promueve la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el butirato, que son cruciales para la integridad de la barrera intestinal y para la prevención de la inflamación. Estas acciones se potencian cuando se combinan con ejercicio moderado, ya que la contracción muscular puede llevar a un aumento de la perfusión sanguínea intestinal, lo que puede promover la absorción y utilización de los metabolitos generados por la microbiota (Monda et al., 2017).

En esta línea, un metaanálisis reciente realizado por Barton et al., 2018 informó que la suplementación con prebióticos y probióticos combinada con ejercicio (ya sea entrenamiento o episodios agudos) está relacionada con un aumento en la diversidad bacteriana, la producción de AGCC y una modulación inmune beneficiosa en atletas. Por lo tanto, una nutrición adecuada no solo va de la mano con el entrenamiento deportivo, sino que también aumenta el efecto modulador del ejercicio sobre el microbioma.

2.4.2 Modulación conjunta de la microbiota intestinal

En atletas se demostró que el ejercicio vigoroso resultó en la proliferación aumentada de bacterias convertidoras de lactato a propionato, como especies del género *Veillonella*. Este resultado, reportado por Barton et al. (2018), presenta evidencia de que la microbiota es una comunidad adaptable bajo la influencia del entorno metabólico creado durante el ejercicio, capaz de convertir metabolitos generados en actividad en metabolitos que pueden ser de apoyo al rendimiento. Este impacto se refleja particularmente en individuos que tienen una dieta rica en carbohidratos complejos y fibra, proporcionando un sustrato adicional para la microbiota intestinal.

2.4.3 Microbiota como mediador del cambio de rendimiento

La microbiota es un mediador para el cambio de rendimiento ya que la dieta puede alterar el rendimiento del huésped, especialmente durante una competencia o en situaciones de alto rendimiento (Marco et al., 2017). La microbiota intestinal se consolida como un factor importante en relación con el estilo de vida y el rendimiento deportivo. Los AGCC producidos a partir de la fermentación de fibra contribuyen a la salud intestinal y tienen efectos sistémicos en la regulación del metabolismo energético, influyendo en la sensibilidad a la insulina y la oxidación de ácidos grasos (Morrison & Preston, 2016). Por lo tanto, el microbioma puede considerarse como un mediador entre la dieta y los cambios fisiológicos provocados por el ejercicio.

En este sentido, Barton et al. (2018) identificaron que los atletas profesionales exhiben una comunidad microbiana más variada y funcionalmente diferenciada que los individuos sedentarios, con una capacidad significativa para metabolizar carbohidratos y aminoácidos. Esto indica que la microbiota está involucrada en la regulación de la cosecha de energía durante un período de actividad física intensa. Además, se enfatiza la función mediadora de la microbiota en que, con adaptaciones en la microbiota no solo relacionadas con la intensidad y carga de entrenamiento, sino con el patrón dietético de cada atleta.

2.4.4 Modelos integrativos y enfoque multidisciplinario

La compleja interacción entre la dieta y la actividad con la microbiota puede ser difícil de entender, requiriendo un esfuerzo altamente integrado que tenga en cuenta la variación individual entre los humanos. Barton et al., 2018 mostraron que el impacto modulador de la relación *Bacillota/Bacteroidota* está mediado por el tipo, así como la intensidad del ejercicio, y que esta influencia está controlada por el contexto dietético. Esto presenta la necesidad de elaborar modelos de nutrición y entrenamiento personalizados, donde el perfil microbiano personal sea una referencia para una definición de modelo más efectiva.

La evolución de la nutrición de precisión a través del microbioma solo añade credibilidad a este concepto, indicando que la respuesta a la dieta y la actividad es extremadamente individualizada. David et al., (2014) mostraron que las personas con configuraciones microbianas contrastantes pueden

responder de manera opuesta al mismo régimen dietético. Aplicado a los deportes, esto podría significar que dos atletas siguiendo el mismo programa de entrenamiento y nutrición pueden tener entorno microbianos muy diferentes, dependiendo de cómo sus colonias intestinales estén conectadas.

2.5 EFECTOS SOBRE LA SALUD Y EL RENDIMIENTO FÍSICO

La relación entre microbiota/dieta/ejercicio y sus efectos sobre la aptitud física es ahora un enfoque central de investigación para comprender la naturaleza de cómo los factores del estilo de vida influyen en la salud en general. La microbiota intestinal actúa como un regulador clave del metabolismo energético, la función inmunológica y la inflamación. Intervenir a través de la dieta y el ejercicio físico puede tener no solo un efecto de reducción del riesgo hacia el desarrollo de enfermedades crónicas, sino que también podría proporcionar ventajas en el rendimiento deportivo (Bielik et al., 2022).

La relevancia de este eje podría presentarse esquemáticamente en dos características principales: la primera es que tiene el potencial de mejorar la salud metabólica e inmunológica de la población general y la segunda permitirá a un atleta seguir rindiendo a altos niveles sin comprometer la integridad integral de su cuerpo.

2.5.1. Salud metabólica y prevención de enfermedades

Un ecosistema intestinal equilibrado es cada vez más reconocido como fundamental para la protección frente a diversos procesos patológicos. Una microbiota rica y funcional se asocia con múltiples beneficios para la salud metabólica y general. Entre ellos, se encuentra la mejora del control glucémico y el aumento de la sensibilidad a la insulina, efecto vinculado a los ácidos grasos de cadena corta, como el butirato, que ejercen un papel protector frente a la resistencia a la insulina (Birkeland et al. 2020). Además, la proliferación de bacterias con potencial antiinflamatorio, como *Faecalibacterium prausnitzii*, contribuye a reducir la inflamación crónica de bajo grado, un fenómeno común en la obesidad y el síndrome metabólico (Miquel et al., 2013).

La microbiota intestinal también participa en la regulación del peso corporal. La práctica regular de actividad física, junto con una dieta rica en fibra, favorece comunidades microbianas vinculadas a un menor riesgo de obesidad, mientras que un estilo de vida sedentario combinado con dietas hipercalóricas puede inducir disbiosis y aumentar la predisposición a diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y trastornos gastrointestinales (Estaki et al., 2016).

2.5.2. Disfunción inmunológica y susceptibilidad a infecciones

La microbiota gastrointestinal tiene una influencia crítica en el desarrollo, regulación y eficiencia del sistema inmunológico. Se ha informado que el ejercicio físico de nivel o intensidad moderada contribuye a la proliferación de bacterias favorables que producen metabolitos con actividad inmunomoduladora que mejoran la capacidad de respuesta a las infecciones (Clarke et al., 2014).

En los atletas, un entorno intestinal intacto puede reducir el riesgo de infecciones respiratorias y gastrointestinales, que frecuentemente acompañan al entrenamiento de alto volumen. En esta línea, Lamprecht et al. (2012) demostraron que la suplementación con probióticos en atletas redujo las infecciones del tracto respiratorio superior, indicando que una microbiota robusta sirve como un amortiguador profiláctico contra el estrés inmunológico del entrenamiento intenso. Sin embargo, este equilibrio puede verse alterado por otros factores y especialmente por una carga de entrenamiento excesiva, lo que lleva a una mayor susceptibilidad a enfermedades inflamatorias que pueden afectar negativamente la salud y el rendimiento deportivo (Karl et al., 2017).

2.5.3. Microbiota y rendimiento deportivo

En los últimos años se han logrado avances significativos en la comprensión del papel de la microbiota en el rendimiento físico y los mecanismos asociados, incluyendo la producción de energía, la regulación de la inflamación y la mejora de la recuperación muscular. Se ha observado que algunas especies bacterianas, como *Veillonella*, metabolizan el lactato producido durante el ejercicio en propionato, un ácido graso de cadena corta que el organismo puede utilizar como fuente de energía, contribuyendo así a prolongar el tiempo hasta el agotamiento (Barton et al., 2018). Asimismo, la microbiota de los atletas presenta un enriquecimiento de bacterias capaces de optimizar la utilización de carbohidratos y aminoácidos, generando condiciones favorables para la recuperación tras esfuerzos intensos (Barton et al., 2018).

La presencia de un ecosistema intestinal equilibrado también se relaciona con una mayor resistencia física y un retraso en la aparición de fatiga, dado que favorece la oxidación de lípidos y mejora el metabolismo de los carbohidratos (Morrison & Preston, 2016).

2.5.4. Repercusiones psicológicas y salud mental

Otro parámetro interesante a considerar es el eje intestino-cerebro (es decir, la relación entre la microbiota intestinal y el sistema nervioso central) en la salud mental de los atletas. Se ha informado que la microbiota endógena produce compuestos neuromoduladores como el indol y la serotonina que pueden afectar la ansiedad y la depresión (Bercik et al., 2011).

Por el contrario, el ejercicio rutinario moderado no solo actúa para modular beneficiosamente la composición microbiana, sino que también está relacionado con cambios beneficiosos en la función

neurocognitiva y emocional. Esto es particularmente relevante en relación con los deportes, donde puede ayudar a enfrentar la ansiedad, el estrés competitivo y evitar síntomas depresivos (Allen et al., 2018).

2.5.5. Nutrición deportiva de precisión y personalización

La evidencia actual sugiere que las estrategias dietéticas y de entrenamiento diseñadas individualmente según su microbiota pueden ser un enfoque prometedor para maximizar los resultados de salud y rendimiento. David et al., (2014) demostraron que el efecto del mismo patrón dietético podría variar considerablemente entre individuos en relación con su microbiota inicial. En el campo del deporte, esto significa que dos atletas que siguen el mismo protocolo de alimentación y entrenamiento, al estar expuestos a diferentes entornos intestinales, van a responder de manera muy diferente, solo por esa microbiota intestinal. Como resultado, surge el concepto de nutrición de precisión en el deporte, ya que estos datos de las microbiotas de los atletas podrían usarse para desarrollar intervenciones individualizadas destinadas a maximizar la efectividad del entrenamiento y minimizar el riesgo de lesiones o enfermedades.

2.6. ASPECTOS EMERGENTES Y PERSPECTIVAS ACTUALES

En los últimos años, el avance de los métodos moleculares y el desarrollo de un conocimiento más profundo sobre el papel desempeñado por la microbiota intestinal en la fisiología humana han mejorado la información adquirida. Junto con esa evidencia convergente para la dieta y el ejercicio, hay líneas de investigación emergentes que enfatizan la relevancia del eje intestino-cerebro, el potencial para la nutrición de precisión, la relevancia clínica y de salud pública del microbioma y el desarrollo de herramientas cada vez más sofisticadas para perfilar el microbioma intestinal.

2.6.1. Microbiota y eje intestino-cerebro: implicaciones en el rendimiento del ejercicio y la salud mental

El término eje intestino-cerebro se utiliza para describir el sistema de comunicación entre el sistema nervioso central y el intestino que involucra señales neuronales, endocrinas e inmunológicas (Bercik et al., 2011). Se cree que la microbiota intestinal es en gran medida responsable de este control, que influye en la síntesis de neurotransmisores (incluyendo serotonina, dopamina, GABA) conocidos por tener un impacto directo en el estado de ánimo, el comportamiento y la respuesta al estrés.

Esta relación ha despertado interés en el mundo del deporte porque afecta no solo el rendimiento físico, sino también el psicológico. En estudios realizados en humanos, Holscher (2017) informó que la suplementación con probióticos redujo la fatiga y la ansiedad en estudiantes sometidos a altos niveles de estrés académico, un hallazgo que también podría aplicarse al ámbito deportivo.

Por lo tanto, se sugiere que una microbiota equilibrada podría ser importante no solo para los beneficios de salud física, sino también para la resiliencia psicológica, la gestión del estrés competitivo y la recuperación del ejercicio en atletas de élite.

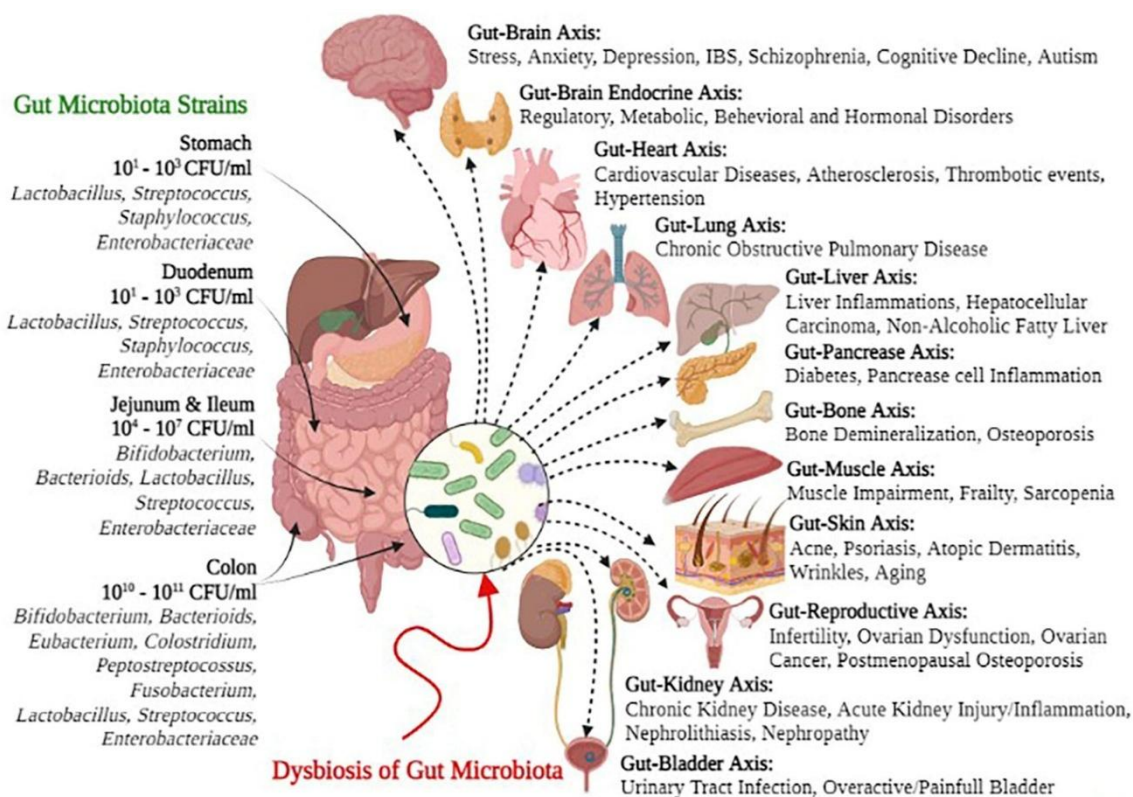


Imagen 3. Eje intestino-cerebro y salud sistémica: Visualización de la interacción entre microbiota, otros órganos y estados patológicos asociados.

2.6.2. Nutrición de precisión basada en el microbioma e individualización

La nutrición de precisión se centra en proporcionar recomendaciones nutricionales personalizadas adaptadas a factores genéticos, metabólicos (y más recientemente), de microbiota intestinal de cada individuo. El desarrollo de la secuenciación de próxima generación ha revelado que el mismo consejo dietético puede llevar a respuestas muy diferentes en diferentes personas, ya que la composición inicial de su microbiota varía enormemente (Zeevi et al., 2015).

En este sentido, David et al., (2014) también demostraron que la composición microbiana intestinal está influenciada por la tolerancia a macronutrientes y la respuesta glucémica posprandial. Aplicado al deporte, este método permite una planificación nutricional personalizada que puede favorecer tanto la salud intestinal como el rendimiento atlético. Además, la nutrición de precisión también se ha asociado con la prevención de enfermedades metabólicas y la recuperación acelerada después del ejercicio (Valdes et al., 2018).

2.6.3. Usos terapéuticos y preventivos en salud clínica y pública de la modificación de la microbiota

El control de la microbiota intestinal a través de intervenciones, como modificaciones en la dieta, administración de probióticos, prebióticos, simbióticos e incluso trasplante de microbiota fecal, está evolucionando rápidamente como una estrategia atractiva en los campos de la medicina preventiva y el deporte (Everard et al., 2013).

En la clínica, estas estrategias se aplican en enfermedades metabólicas, inflamatorias y autoinmunes. Un ejemplo interesante es la suplementación de *Akkermansia muciniphila* pasteurizada, que mejoró significativamente la sensibilidad a la insulina de pacientes que padecen síndrome metabólico (Depommier et al., 2019).

Desde el punto de vista de la salud pública, el énfasis está en la dieta en lugar de grupos de alimentos específicos que podrían fomentar una microbiota favorable. Este es el caso de la dieta mediterránea, que se ha encontrado que disminuye la inflamación crónica de bajo grado (Ghosh et al., 2020). En el deporte, la modulación de la microbiota es una estrategia complementaria para prevenir infecciones respiratorias, mejorar la recuperación y optimizar la disponibilidad de energía (Jäger et al., 2019).

2.7. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES PREVIAS RELEVANTES

Durante los últimos 20 años, ha habido un creciente interés en la relación entre la dieta, el ejercicio y la microbiota intestinal. Los estudios en esta área integran intervenciones humanas, lo que ha permitido el descubrimiento de mecanismos fisiológicos, moleculares y bioquímicos que subyacen a la interacción entre el microbioma, la salud y el rendimiento atlético. A continuación, se resumen las traducciones de los hallazgos más relevantes de ambos enfoques, así como sus principales contribuciones y limitaciones.

2.7.1. Estudios en Humanos

En humanos, también está bien establecido que la actividad física rutinaria está relacionada con una microbiota más diversa y funcional a nivel de la población humana, promoviendo la salud metabólica.

Uno de los estudios pioneros fue el de Clarke et al. (2014), que comparó jugadores de rugby profesionales y participantes sanos sedentarios como control. La microbiota de los atletas era más rica en especies beneficiosas y más diversa, un marcador de alimentos ricos en probióticos y un estilo de vida

físicamente activo. Este resultado inició el debate sobre la acción sinérgica de la dieta y el ejercicio en el microbioma.

Posteriormente, Barton et al. (2018) avanzaron más en esta área y observaron que la microbiota de los atletas tenía perfiles metabólicos más avanzados, como una mayor capacidad para la síntesis de AGCC, metabolismo de aminoácidos y degradación de carbohidratos que la de personas más sedentarias. Desde un punto de vista de intervención, Allen et al. (2018) en sujetos sedentarios después de 6 semanas de entrenamiento físico. Los estudios revelaron una elevación de productores de butirato, incluyendo *F. prausnitzii*, particularmente en los participantes con bajo IMC. Pero cuando los participantes terminaron el programa de ejercicio, el cambio en los microbios revirtió, indicando que hacer ejercicio regularmente, en lugar de correr intensamente durante seis meses, realmente importaba.

Uno de los informes pioneros en nutrición de precisión en este contexto está establecido por David et al., (2014), que muestran que la respuesta microbiana a patrones dietéticos adversos está determinada en gran medida por el estado microbiano personal del individuo en su dieta inicial. Este descubrimiento ha ayudado a confirmar que tanto la dieta como el entrenamiento deben individualizarse para obtener la mayor recompensa.

Además, investigaciones clínicas han asociado la disbiosis con una mayor incidencia de obesidad y trastornos metabólicos relacionados y diabetes tipo 2, que en contraste son condiciones que pueden prevenirse o tratarse con ejercicio y dietas ricas en fibra (Valdes et al., 2018).

3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Investigar la relación entre la dieta, el ejercicio y la microbiota intestinal, y su implicación en la salud metabólica y deportiva.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Investigar cómo distintos regímenes alimenticios determinan la composición del ecosistema intestinal.
2. Explorar el efecto de la actividad física, en particular la actividad de resistencia y aeróbica, sobre la naturaleza heterogénea de la microbiota intestinal.
3. Examinar las posibles interacciones de la dieta y el ejercicio en la regulación de la microbiota intestinal y sus implicaciones con respecto a la prevención de trastornos metabólicos y la mejora del rendimiento físico.

4. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Se propone la hipótesis de que:

- La interacción entre una dieta saludable y el ejercicio físico regular modula la microbiota intestinal en beneficio mutuo del huésped, llevando a un aumento de la diversidad bacteriana y a la producción de metabolitos con efectos positivos y rendimientos metabólicos y de ejercicio.

5. METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE ESTUDIO

El presente trabajo es una revisión narrativa con componentes sistemáticos, cuyo propósito ha sido reunir, analizar y sintetizar la información científica disponible sobre la relación entre la microbiota intestinal, la alimentación y el ejercicio físico, así como sus repercusiones en la salud y el rendimiento deportivo.

Se optó por este tipo de revisión porque ofrece la posibilidad de integrar resultados de distintos diseños de investigación, como ensayos clínicos, estudios observacionales, y investigaciones experimentales, permitiendo así obtener una visión amplia y actualizada del tema.

5.2. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

La búsqueda de información se realizó entre los meses de marzo y junio de 2025, con el objetivo de localizar artículos científicos actuales y de calidad relacionados con el tema de estudio. Se consultaron diversas bases de datos especializadas y multidisciplinarias, seleccionadas por su relevancia en el ámbito de la salud, la nutrición y las ciencias del deporte. Entre ellas se incluyen PubMed, considerada la fuente principal en ciencias de la salud; Scopus, un motor de búsqueda multidisciplinar que abarca biomedicina, nutrición y deporte; y Google Scholar, empleada como apoyo para localizar literatura, trabajos académicos y referencias citadas en estudios clave.

La estrategia de búsqueda combinó descriptores en inglés y español, junto con operadores booleanos (AND, OR), para ampliar o acotar los resultados según fuera necesario. Entre los términos utilizados en inglés se encontraron expresiones como “gut microbiota” o “intestinal microbiome”, combinadas con “diet”, “nutrition”, “dietary patterns” o “nutrition”, así como “exercise” o “physical activity” y “athletes”, en conjunción con conceptos relacionados con la salud y el rendimiento deportivo, como “health”, “metabolic health” o “sports performance”. Esta metodología permitió asegurar la inclusión de literatura relevante y actual sobre la relación entre microbiota, alimentación y ejercicio en contextos deportivos.

5.3. CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Para asegurar la calidad y pertinencia de la información recopilada, se establecieron unos criterios de inclusión y exclusión previos al inicio de la búsqueda.

Criterios de inclusión:

- 1) Se consideraron publicaciones comprendidas entre los años 2010 y 2025, aunque también se incluyeron algunos trabajos anteriores cuando resultaron esenciales como referencias de base;
- 2) se aceptaron artículos redactados en inglés o en español;
- 3) se incluyeron estudios originales (ensayos clínicos, investigaciones observacionales y experimentales);
- 4) solo se seleccionaron aquellos trabajos que abordaban de forma explícita la relación entre la microbiota intestinal y la dieta, el ejercicio físico, o ambos factores, y que analizaban sus repercusiones en la salud o en el rendimiento deportivo.

Criterios de exclusión:

- 1) Se descartaron los estudios sin acceso a texto completo;
- 2) no se consideraron publicaciones que no estuvieran indexadas en bases de datos académicas reconocidas;
- 3) se excluyeron trabajos con calidad metodológica insuficiente, por ejemplo, aquellos con muestras demasiado pequeñas sin análisis estadísticos adecuados;
- 4) No se consideraron revisiones sistemáticas;
- 5) No se incluyeron opiniones, editoriales ni revisiones no fundamentadas en evidencia científica sólida.

5.4. PROCESO DE SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

La búsqueda inicial permitió identificar un total de 420 artículos. En primer lugar, se eliminaron los duplicados ($n = 100$), lo que redujo el número de registros a 320.

Posteriormente, se revisaron los títulos y resúmenes, y se excluyeron 230 artículos que no cumplían los criterios de inclusión. Tras este filtrado quedaron 90 artículos para lectura completa.

Finalmente, al aplicar con mayor detalle los criterios de calidad y pertinencia, se excluyeron 35 artículos adicionales. El número final de trabajos seleccionados para esta revisión fue de 55 estudios, que constituyen la base de los resultados y discusión presentados en este TFM.

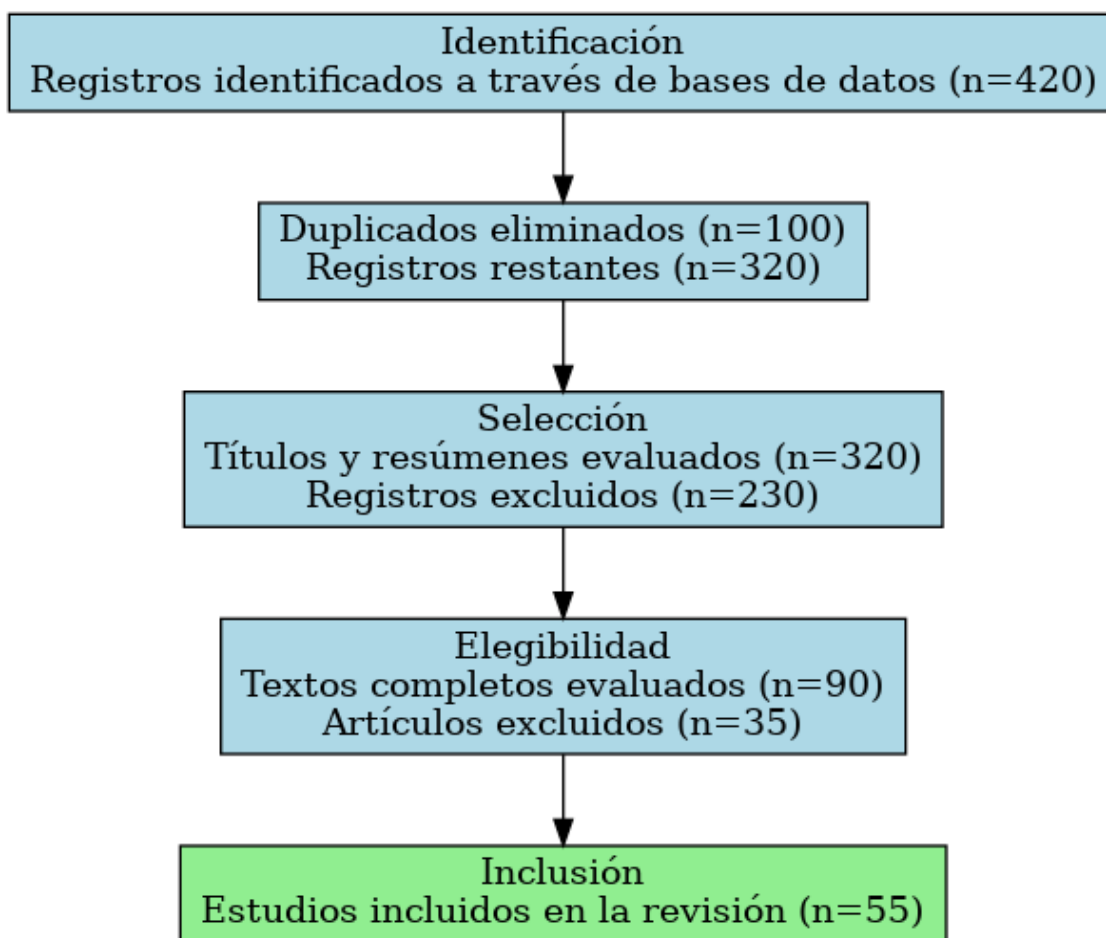


Diagrama de flujo

6. RESULTADOS

El siguiente apartado resume los resultados más significativos encontrados tras la lectura de los artículos considerados. El objetivo es proporcionar una visión estructurada de cómo la dieta y la actividad física impactan finalmente en la microbiota intestinal y qué consecuencias pueden ejercer estas modificaciones tanto en la salud como en el rendimiento deportivo.

Los resultados se han agrupado en varios bloques temáticos para facilitar la lectura. Luego se discuten los principios generales y las funciones clave de la microbiota. A continuación, se destacan individualmente los efectos de la dieta y el ejercicio, seguidos de sus resultados combinados. Posteriormente, se describen los resultados relacionados con la salud y el rendimiento, y se discuten posibles nuevos temas emergentes y perspectivas de investigación futura. Finalmente, se muestran los antecedentes más apropiados de estudios con humanos.

Se proporcionan tablas de síntesis para algunos de estos apartados y se presta atención explícita a los puntos similares y diferentes entre los estudios. Así, no solo se narran los resultados, sino que también se proporcionan ayudas visuales para permitir al lector ver las tendencias más claras.

6.1. PRESENTACIÓN DE LOS HALLAZGOS EN LA LITERATURA

En la revisión de los artículos seleccionados, se encontró una gran cantidad de información, que confirmó que el microbioma intestinal es un elemento esencial en la salud y el rendimiento deportivo (Barton et al., 2018). Los estudios coinciden en que la dieta y el ejercicio pueden cambiar la estructura y función de la comunidad microbiana en el intestino, pero hay variaciones en varias dimensiones diferentes, incluido el contexto en el que se estudian y la población que se estudia (Valdes et al., 2018).

Un primer punto de contacto común es que una mayor diversidad de bacterias corresponde a mejores medidas de salud metabólica, inmunológica y energética. Esto es cierto tanto para la población general como para los atletas (Estaki et al., 2016). Mientras tanto, la investigación demuestra que la pérdida de diversidad o disbiosis típicamente se correlaciona con obesidad, inflamación y rendimiento reducido (Miquel et al., 2013)

En cuanto a la dieta, los estudios en la literatura indican que un patrón dietético rico en fibra dietética, frutas, verduras y alimentos fermentados está positivamente asociado con la presencia de bacterias productoras de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que son críticas para el control de la energía y la integridad de la mucosa intestinal (Clarke et al., 2014). Por otro lado, una dieta alta en grasas saturadas y ultra procesada favorece las bacterias proinflamatorias. (Valdes et al., 2018).

La actividad física, en contraste, se establece como un modulador positivo, particularmente si se realiza con frecuencia y de manera moderada. La microbiota de los atletas es más diversa que la de la población sedentaria, pero solo hasta cierto punto: con una carga de entrenamiento excesiva y una mala nutrición, puede causar cambios en la barrera intestinal y mayor inflamación. (Barton et al., 2018)

En general, la evidencia de la literatura revisada apunta al hecho de que la dieta y el ejercicio no funcionan solos, sino que pueden amplificarse entre sí, por lo tanto, potencian los beneficios sobre la microbiota y, por ende, sobre la salud y el rendimiento deportivo. (Valdes et al., 2018)

6.2. INFLUENCIA DE LA ALIMENTACIÓN SOBRE LA MICROBIOTA INTESTINAL

La literatura científica revisada en general es bastante consistente en cuanto a que la dieta es uno de los principales factores que explican las variaciones interindividuales en la composición de la microbiota intestinal (Valdes et al., 2018). Los alimentos que ingerimos son un sustrato directo para la flora intestinal y el menú repetido a lo largo del tiempo condiciona la diversidad y función de este ecosistema (Conlon & Bird, 2015).

Un resultado recurrente en diferentes estudios analizados (De Filippis et al., 2016; Birkeland et al., 2020) es la asociación de una dieta rica en fibra y vegetales que alimentan principalmente a las bacterias productoras de AGCC como el butirato, acetato y propionato. Estos compuestos llevan a cabo

varias actividades beneficiosas: alimentan las células intestinales, refuerzan la barrera mucosa, disminuyen la inflamación y están involucrados en el control del metabolismo energético (De Filippis et al., 2016). Por otro lado, dietas bajas en fibra, altas en grasas saturadas o azúcares refinados típicamente se correlacionan con una disminución de la diversidad bacteriana y un aumento de los niveles de especies proinflamatorias (David et al., 2014; Everard et al., 2013)

El tipo de proteína en la dieta también parece ser diferenciador. Y las proteínas vegetales, junto con la fibra, alcanzan un punto óptimo donde se encuentran perfiles microbianos más saludables; mientras que una alta ingesta de proteína animal y baja fibra podría estar promoviendo la producción de metabolitos menos deseables (como amoníaco o sulfuro de hidrógeno; Menni et al., 2017).

También hay disparidades obvias entre patrones dietéticos completos. La dieta mediterránea, que se caracteriza por un alto consumo de frutas, verduras, legumbres, aceite de oliva y pescado, se correlaciona consistentemente con una mayor diversidad bacteriana y un perfil antiinflamatorio (De Filippis et al., 2016). Por el contrario, la dieta occidental (alta en alimentos hiperprocesados, grasas saturadas y azúcar) se asocia con disbiosis y un mayor riesgo metabólico (Everard et al., 2013)

Los alimentos funcionales también son otro campo de estudio. Los prebióticos estimulan el crecimiento de bacterias beneficiosas, mientras que los probióticos contribuyen a mantener o restablecer la composición de la microbiota intestinal, pudiendo ejercer efectos sinérgicos cuando se combinan. (De Giani et al., 2022). Además, la ingesta de productos fermentados (es decir, yogur o kéfir) se ha asociado con una mayor diversidad bacteriana y una inmunomodulación beneficiosa. (Lamprecht et al., 2012; Wastyk et al., 2021)

La literatura parece ser unánime en que la dieta tiene un efecto rápido y directo sobre la microbiota que puede observarse en días o semanas, mientras que los cambios duraderos requerirían comportamientos dietéticos consistentes a lo largo del tiempo (David et al., 2014).

| ESTUDIOS | MÉTODO | RESULTADOS PRINCIPALES |
|--|--|--|
| (De Filippis et al., 2016; Birkeland et al., 2020) | Dieta rica en fibra y vegetales | Asociada con mayor abundancia de bacterias productoras de AGCC (butirato, acetato, propionato). Estos metabolitos nutren a los colonocitos, fortalecen la barrera intestinal, reducen inflamación y modulan el metabolismo energético. |
| (David et al., 2014; Everard et al., 2013) | Dietas bajas en fibra y altas en grasas saturadas/azúcares refinados | Relacionadas con menor diversidad bacteriana y aumento de especies proinflamatorias; se asocian con disbiosis y riesgo metabólico. |
| Menni et al. (2017) | Tipo de proteína (animal vs. vegetal) | Las proteínas vegetales junto con la fibra se asocian a perfiles microbianos más saludables. Un consumo elevado de proteína animal y baja fibra promueve metabolitos perjudiciales (amoníaco, sulfuro de hidrógeno). |
| De Filippis et al. (2016) | Dieta mediterránea | Promueve mayor diversidad bacteriana y un perfil antiinflamatorio. |

| | | |
|---|--------------------------------------|---|
| Everard et al. (2013) | Dieta occidental | Asociada con disbiosis y mayor riesgo metabólico. |
| De Giani et al. (2022) | Probióticos y prebióticos | Los prebióticos estimulan el crecimiento de bacterias beneficiosas, mientras que los probióticos contribuyen a mantener o restablecer la composición de la microbiota intestinal, pudiendo ejercer efectos sinérgicos cuando se combinan. |
| (Lamprecht et al., 2012; Wastyk et al., 2021) | Alimentos fermentados (yogur, kéfir) | Asociados con mayor diversidad bacteriana y efectos inmunomoduladores positivos. |
| David et al. (2014) | Cambios dietéticos en el tiempo | La dieta impacta de forma rápida (días-semanas) sobre la microbiota, pero cambios sostenidos requieren hábitos mantenidos en el tiempo. |

Tabla 1. Resultados principales de la literatura revisada sobre el impacto de la dieta en la microbiota intestinal.

6.3. IMPACTO DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE LA MICROBIOTA

La revisión de la literatura corrobora la actividad física como un modulador relevante de la microbiota intestinal. Mientras que la dieta contribuye más directamente a la disponibilidad de sustratos para los microorganismos, el movimiento y la actividad física también causan cambios importantes, tanto en la diversidad como en las proporciones relativas de especies bacterianas. Estos efectos dependen del tipo e intensidad del ejercicio, la frecuencia del ejercicio y el estado fisiológico del individuo. (Clarke et al., 2014)

Una tendencia frecuente observada en los estudios revisados es que el ejercicio moderado y rutinario se beneficia de una mayor diversidad microbiana, lo que a su vez está vinculado a una microbiota intestinal más estable y resiliente ante las alteraciones. La diversidad bacteriana se ve como un indicador positivo, ya que significa que el microbioma es mejor capaz de tener funciones metabólicas y de defensa variadas. (Estaki et al., 2016)

Los atletas, particularmente aquellos que practican disciplinas de resistencia, típicamente albergan una microbiota más rica en términos de microorganismos beneficiosos en comparación con la población sedentaria. Por ejemplo, se ha informado de la expansión de *Faecalibacterium prausnitzii* y *Akkermansia muciniphila*, dos bacterias vinculadas con la producción de ácidos grasos de cadena corta y la integridad de la barrera intestinal (Barton et al., 2018). Estos metabolitos no solo mejoran la salud intestinal, sino que también apoyan el metabolismo energético y la reducción de la inflamación sistémica. (Estaki et al., 2016)

Que pueda ser una función del tipo de ejercicio también parece ser el caso. El entrenamiento aeróbico (correr, nadar y andar en bicicleta) se asocia con un aumento de la diversidad y abundancia relativa de bacterias productoras de butirato (Clarke et al., 2014). Los entrenamientos de fuerza e intensidad alta producen alteraciones, pero estas parecen estar más relacionadas con la capacidad de la

microbiota para metabolizar aminoácidos y carbohidratos, y secundariamente, con los requerimientos energéticos característicos de este tipo de actividades (Barton et al., 2018).

Uno es la intensidad del ejercicio. El ejercicio moderado es útil, sin embargo, sobrecargar el cuerpo físico, como en el caso del sobreentrenamiento, tiene efectos indeseables. Algunas investigaciones en miembros militares y en atletas de élite que se someten a entrenamientos muy intensos han demostrado que su diversidad microbiana disminuye y que desarrollan un aumento en los marcadores de inflamación en sus intestinos. Estas alteraciones van acompañadas de una mayor permeabilidad mucosa que lleva a la penetración de agentes proinflamatorios en el huésped. Esto es lo que se llama "intestino permeable", y está asociado con fatiga, malestar digestivo y un mayor riesgo de lesiones e infecciones (Karl et al., 2017).

La respuesta de la microbiota al ejercicio también depende del contexto dietético. Por ejemplo, los estudios han demostrado que los efectos inducidos por el ejercicio en bacterias como *Akkermansia muciniphila* fueron más marcados en una dieta enriquecida en fibra que es menos occidentalizada, por lo tanto, más equilibrada. Esto apoya el concepto de que el ejercicio y la dieta no son separados, sino juntos (Allen et al., 2018).

Los resultados muestran que el ejercicio físico, especialmente cuando se practica con regularidad y en intensidades moderadas, es un estímulo positivo para la microbiota intestinal. Sin embargo, cuando la carga es excesiva o no va acompañada de una alimentación adecuada, los efectos pueden volverse perjudiciales (Monda et al., 2017)

| ESTUDIOS | TIPO DE EJERCICIO | RESULTADOS PRINCIPALES |
|--|--|---|
| Clarke et al. (2014) | Ejercicio físico en general; aeróbico | El ejercicio modula diversidad y proporciones bacterianas. El ejercicio aeróbico aumenta la abundancia de bacterias productoras de butirato. |
| Estaki et al. (2016) | Ejercicio moderado y rutinario | Asociado con mayor diversidad microbiana (microbiota más estable y resiliente; vinculada a funciones metabólicas y de defensa variadas) |
| Barton et al. (2018); Estaki et al. (2016) | Atletas de resistencia | Mayor riqueza microbiana; expansión de <i>Faecalibacterium prausnitzii</i> y <i>Akkermansia muciniphila</i> |
| Barton et al. (2018) | Entrenamientos de fuerza o alta intensidad | Alteraciones relacionadas con metabolismo de aminoácidos y carbohidratos, en función de requerimientos energéticos del ejercicio. |
| Karl et al. (2017) | Ejercicio excesivo / sobreentrenamiento (militares, élite) | Disminución de diversidad bacteriana, aumento de inflamación intestinal, mayor permeabilidad, fatiga, malestar digestivo, riesgo de infecciones y lesiones. |
| Allen et al. (2018) | Ejercicio + dieta enriquecida en fibra | Efectos del ejercicio (ej. aumento de <i>Akkermansia muciniphila</i>) más marcados con dieta equilibrada, menos occidentalizada. |
| Monda et al. (2017) | Ejercicio regular y moderado vs. carga excesiva | Ejercicio moderado es positivo para la microbiota. Carga excesiva sin dieta adecuada no tiene efectos perjudiciales. |

Tabla 2. Principales hallazgos de la literatura sobre el impacto del ejercicio físico en la composición y funcionalidad de la microbiota intestinal.

6.4. INTERACCIÓN DIETA–EJERCICIO–MICROBIOTA

Una de las características más notables de la literatura científica es que la microbiota intestinal no solo está influenciada de manera independiente por la dieta y el ejercicio físico, sino que ambos factores también pueden interactuar, mostrando efectos sinérgicos. En otras palabras, los efectos sobre la salud intestinal y general de estas cosas juntas pueden parecer mayores que la suma de sus partes (Monda et al., 2017).

La dieta alimenta a las bacterias intestinales. Por ejemplo, la fibra y los carbohidratos complejos presentes en frutas, verduras, legumbres y granos enteros, que son fermentados por bacterias en ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que incluyen principalmente acetato, propionato y butirato. Estos metabolitos desempeñan roles importantes: (1) refuerzan la barrera intestinal o mucosa, (2) controlan la inflamación, y (3) actúan como energía para el colon (Ghosh et al., 2020).

Cuando se asocia con actividad física moderada y constante, los beneficios generalmente aumentan; de hecho, la actividad física mejora el flujo sanguíneo en el intestino y permite que los compuestos sean utilizados más eficazmente por el organismo (Barton et al., 2018)

Una observación interesante de la investigación en atletas es la actividad de la bacteria *Veillonella atypica*, que es más común en el microbioma intestinal de los atletas de resistencia. Esto permitiría a esta especie convertir el lactato producido durante el ejercicio en propionato como una forma alternativa de producir energía. Este ejemplo demuestra que el ejercicio no solo induce cambios en la microbiota, sino que también resulta en un entorno metabólico que ciertas bacterias utilizan en beneficio del huésped (Barton et al., 2018).

La dieta, a su vez, modula el alcance de este proceso ya que el consumo de carbohidratos y fibra es necesario para la expansión de estas especies. Los estudios comparativos refuerzan esta idea. Los atletas en buen estado nutricional no solo demuestran una microbiota más heterogénea que sus contrapartes sedentarias, sino que también muestran un perfil funcional más eficiente, con mayor capacidad para metabolizar los nutrientes principales involucrados en el rendimiento. Es una doble adaptación: la microbiota se adapta a las necesidades energéticas del deporte y, al mismo tiempo, aumenta la capacidad del cuerpo para realizar y recuperarse de él (Estaki et al., 2016)

Por otro lado, los impactos positivos del ejercicio pueden anularse si se mezclan con un estilo de vida dietético deficiente. El sobreentrenamiento combinado con una falta de fibra dietética y/o bases puede disminuir la riqueza bacteriana y aumentar la permeabilidad intestinal, lo que permite que el material proinflamatorio entre en la circulación. En esas condiciones, los atletas se sobrepasan y exhiben

otros signos y síntomas como cambios en los hábitos intestinales (malestar gastrointestinal), fatiga generalizada o mayor frecuencia de enfermarse, mostrando que los posibles atenuadores de la ecuación entrenamiento-nutrición están hábilmente anulados (Karl et al., 2017)

Otro aspecto importante es la respuesta personal. No todos responden de la misma manera a una mezcla dada de dieta y ejercicio, ya que el perfil microbiano básico sobre el que una dieta o programa de ejercicio está imponiendo su cambio varía en magnitud y dirección. Por ejemplo, ciertos estudios han encontrado que, en la misma dieta y régimen de ejercicio, los sujetos con mayor diversidad microbiana inicial recibieron más beneficios para la salud, mientras que otras poblaciones experimentaron cambios menores. Esto plantea la cuestión de la necesidad de evolucionar hacia planes personalizados, analizados por el microbioma (De Filippis et al., 2016)

| ESTUDIOS DE REFERENCIA | MÉTODO | RESULTADOS PRINCIPALES EN LA MICROBIOTA |
|------------------------|--|--|
| Monda et al. (2017) | Interacción dieta–ejercicio | Efectos sinérgicos: el impacto conjunto sobre la salud intestinal es mayor que la suma de efectos aislados. |
| Ghosh et al. (2020) | Dieta rica en fibra y carbohidratos complejos | Producción de AGCC (acetato, propionato, butirato), lo cuales fortalecen la barrera intestinal, controlan inflamación y nutren de colonocitos. |
| Barton et al., (2018) | Ejercicio moderado y constante | Aumenta beneficios de la dieta al mejorar flujo sanguíneo intestinal y utilización de metabolitos. |
| Barton et al., (2018) | Atletas de resistencia, <i>Veillonella atypica</i> | Esta bacteria convierte lactato en propionato, generando energía adicional; ejemplo de adaptación metabólica inducida por ejercicio. |
| Estaki et al., (2016) | Atletas en buen estado nutricional | Presentan microbiota más diversa y funcional que sedentarios; mayor capacidad para metabolizar nutrientes clave y optimiza rendimiento/recuperación. |
| Karl et al. (2017) | Sobrentrenamiento + dieta deficiente (poca fibra) | Reducción de riqueza bacteriana, aumento de permeabilidad intestinal (“intestino permeable”), inflamación, fatiga y malestar gastrointestinal. |
| De Filippis (2016) | Respuesta individual | El efecto de dieta + ejercicio depende del perfil microbiano inicial; sujetos con mayor diversidad obtienen más beneficios. |

Tabla 3. Resultados principales de la literatura sobre la interacción entre dieta y ejercicio en la modulación de la microbiota intestinal.

6.5. REPERCUSIONES EN SALUD Y EL RENDIMIENTO FÍSICO

La relación entre la dieta, la actividad física y la microbiota intestinal ha cobrado una creciente relevancia en el ámbito científico, especialmente por su papel en la salud general y en el rendimiento físico. La microbiota intestinal se reconoce como un factor clave en la regulación del metabolismo energético, la función inmunológica y la inflamación, lo que convierte a este ecosistema en un objetivo fundamental de estudio. Intervenciones que combinan patrones dietéticos saludables con ejercicio

regular no solo se asocian con una reducción del riesgo de enfermedades crónicas, sino que también pueden conferir ventajas competitivas en el contexto deportivo (Bielik et al., 2022).

Un intestino con un ecosistema microbiano equilibrado se vincula con la prevención de múltiples trastornos metabólicos. Una microbiota diversa y funcional contribuye al control glucémico y a una mayor sensibilidad a la insulina, en gran medida gracias a la producción de ácidos grasos de cadena corta, como el butirato, que actúan como sustratos energéticos y moduladores metabólicos, protegiendo frente a la resistencia a la insulina (Birkeland et al., 2020). Además, especies como *Faecalibacterium prausnitzii* ejercen funciones antiinflamatorias y se asocian con una reducción de la inflamación crónica de bajo grado, un fenómeno común en patologías como la obesidad y el síndrome metabólico (Miquel et al., 2013). Tanto la dieta rica en fibra como la práctica habitual de ejercicio promueven un perfil microbiano más favorable, reduciendo el riesgo de obesidad y enfermedades metabólicas, mientras que la inactividad física y las dietas hipercalóricas contribuyen a la disbiosis, aumentando la predisposición a la diabetes tipo 2, las enfermedades cardiovasculares y los trastornos digestivos (Estaki et al., 2016).

La microbiota intestinal también cumple un papel central en la formación y regulación del sistema inmunitario, siendo un factor determinante en la susceptibilidad a infecciones. El ejercicio moderado ha demostrado estimular la expansión de bacterias productoras de metabolitos inmunomoduladores que fortalecen las defensas frente a agentes infecciosos (Clarke et al., 2014). En deportistas, un equilibrio microbiano adecuado se relaciona con una menor incidencia de infecciones respiratorias y gastrointestinales, habituales en entrenamientos de alta carga. La evidencia señala que la suplementación con probióticos puede reducir la incidencia de infecciones del tracto respiratorio superior en atletas, lo que sugiere que una microbiota robusta constituye un factor protector frente al estrés inmunológico derivado de entrenamientos exigentes (Lamprecht et al., 2012). Sin embargo, cuando se combina una carga excesiva de entrenamiento con hábitos dietéticos deficientes, este equilibrio puede alterarse, aumentando la susceptibilidad a procesos inflamatorios y afectando negativamente tanto la salud como el rendimiento deportivo (Karl et al., 2017).

Más allá de los efectos sobre la salud general, la literatura científica ha puesto de manifiesto la influencia de la microbiota en el rendimiento físico. Determinadas especies bacterianas, como *Veillonella atypica*, metabolizan el lactato producido durante el esfuerzo en propionato, un ácido graso de cadena corta que puede reutilizarse como fuente de energía, prolongando la capacidad de ejercicio antes de alcanzar la fatiga (Barton et al., 2018). Asimismo, los atletas muestran un enriquecimiento en bacterias capaces de optimizar la utilización de carbohidratos y aminoácidos, lo que favorece tanto el rendimiento en esfuerzos intensos como la recuperación muscular posterior. Un ecosistema intestinal equilibrado, por tanto, contribuye a retrasar la aparición de la fatiga y a mejorar la eficiencia metabólica mediante una mejor oxidación de lípidos y un aprovechamiento más eficaz de los carbohidratos (Morrison & Preston, 2016).

El impacto de la microbiota intestinal no se limita al plano fisiológico, ya que también se extiende al ámbito psicológico a través del eje intestino-cerebro. Algunas bacterias intestinales producen compuestos neuromoduladores, como serotonina e indoles derivados del triptófano, que participan en la regulación del estado de ánimo y en la reducción de la ansiedad y la depresión (Bercik et al., 2011). Paralelamente, la práctica de ejercicio físico regular, especialmente de intensidad moderada, se ha asociado con modificaciones beneficiosas tanto en la composición microbiana como en la función neurocognitiva y emocional. Estos hallazgos adquieren relevancia en el deporte, ya que un adecuado equilibrio entre dieta, ejercicio y microbiota podría contribuir a una mejor gestión del estrés competitivo, al control de la ansiedad y a la prevención de síntomas depresivos (Allen et al., 2018).

Finalmente, la evidencia disponible apunta a la necesidad de avanzar hacia estrategias de nutrición y entrenamiento personalizadas basadas en el perfil microbiano individual. Investigaciones han demostrado que un mismo patrón dietético puede generar efectos distintos en diferentes personas según la composición inicial de su microbiota (David et al., 2014).

| ESTUDIO | MÉTODO | RESULTADOS |
|---|--|--|
| Birkeland et al. (2020); Miquel et al. (2013); Estaki et al. (2016) | Revisión y análisis de intervenciones dietéticas ricas en fibra y ejercicio habitual en poblaciones humanas | Se observó mejora del control glucémico, aumento de la sensibilidad a la insulina y reducción de inflamación de bajo grado, vinculados a la producción de AGCC como el butirato. |
| Clarke et al. (2014); Lamprecht et al. (2012); Karl et al. (2017) | Estudios en atletas y población activa, con intervenciones de ejercicio moderado y suplementación probiótica | Se registró expansión de bacterias inmunomoduladoras, menor incidencia de infecciones respiratorias y gastrointestinales, y un efecto protector frente al estrés inmunológico. |
| Barton et al. (2018); Morrison & Preston (2016) | Estudios en atletas de resistencia y análisis microbiota post-esfuerzo | Se identificó la actividad de <i>Veillonella atypica</i> metabolizando lactato en propionato, mejorando el rendimiento y retrasando la fatiga; además, se observó mejor oxidación de lípidos y utilización de carbohidratos. |
| Bercik et al. (2011); Allen et al. (2018) | Estudios en humanos y modelos animales sobre microbiota y eje intestino-cerebro | Se evidenció producción de neuromoduladores intestinales que influyen en ansiedad y estado de ánimo; el ejercicio moderado favoreció tanto la composición microbiana como funciones cognitivas y emocionales. |
| David et al. (2014); Bielik et al. (2022) | Estudios de intervención dietética con análisis del perfil microbiano individual | Se demostró que la respuesta a la dieta y al ejercicio depende de la composición microbiana inicial, destacando la necesidad de estrategias personalizadas para optimizar salud y rendimiento. |

6.6. ASPECTOS EMERGENTES Y PERSPECTIVAS ACTUALES

En los últimos años, los avances en las técnicas moleculares y en la comprensión del papel de la microbiota intestinal han ampliado de manera significativa el conocimiento sobre cómo este ecosistema impacta en la fisiología humana. Los hallazgos científicos han puesto de relieve que, más allá de su influencia en el metabolismo y en la inmunidad, la microbiota interactúa con sistemas clave como el sistema nervioso central, además de ser un objetivo central en la nutrición de precisión y en el diseño de estrategias terapéuticas. Este conjunto de investigaciones emergentes ha consolidado la importancia de la microbiota no solo en la salud general, sino también en ámbitos tan específicos como el rendimiento deportivo y la prevención clínica, lo que abre oportunidades a aplicaciones en la salud pública y en la personalización de la nutrición (Valdes et al., 2018).

Una de las líneas más dinámicas de investigación es la relacionada con el eje intestino-cerebro, definido como el sistema bidireccional de comunicación entre el intestino y el sistema nervioso central, en el que participan señales neuronales, endocrinas e inmunológicas (Bercik et al., 2011). La microbiota intestinal desempeña un papel determinante en este proceso, ya que participa en la síntesis de neurotransmisores como serotonina, dopamina y GABA, los cuales influyen de manera directa en el estado de ánimo, la conducta y la capacidad de respuesta al estrés. La investigación en este campo ha mostrado resultados prometedores tanto en modelos humanos. Holscher (2017) evidenció que la suplementación con probióticos disminuía la fatiga y los niveles de ansiedad en estudiantes expuestos a un alto estrés académico. Estos resultados son extrapolables al deporte, donde una microbiota equilibrada no solo podría contribuir a la optimización de la condición física, sino también al fortalecimiento de la resiliencia psicológica y la gestión del estrés competitivo en atletas de élite.

En paralelo, otro ámbito de creciente interés es el de la nutrición de precisión. Este enfoque se basa en adaptar las recomendaciones dietéticas a características individuales que incluyen no solo factores genéticos y metabólicos, sino también la composición de la microbiota intestinal. Los avances en secuenciación de nueva generación han mostrado que individuos sometidos a una misma dieta responden de manera muy distinta dependiendo de su perfil microbiano inicial (Zeevi et al., 2015). En un trabajo pionero, David et al. (2014) observaron que las variaciones en la microbiota intestinal influían en la tolerancia a los macronutrientes y en la respuesta glucémica posprandial, confirmando que la microbiota puede modular el efecto real de la dieta sobre el metabolismo. Aplicado al deporte, este enfoque resulta particularmente atractivo, ya que permite diseñar estrategias nutricionales personalizadas que no solo optimicen la función intestinal, sino que también contribuyan a mejorar la capacidad de entrenamiento, acelerar la recuperación y prevenir lesiones. Además, la nutrición de precisión basada en la microbiota se asocia con beneficios clínicos como la reducción del riesgo de enfermedades metabólicas y la mejora de la salud cardiovascular (Valdes et al., 2018).

Los usos terapéuticos y preventivos derivados de la modulación de la microbiota también representan un campo de gran proyección tanto en la clínica como en la salud pública. Entre las intervenciones más destacadas se encuentran la suplementación con probióticos, prebióticos y simbióticos, así como técnicas emergentes como el trasplante de microbiota fecal, todas ellas con potencial para influir positivamente en la composición microbiana y en sus funciones metabólicas (Everard et al., 2013). Estos enfoques han sido aplicados con resultados prometedores en enfermedades inflamatorias, autoinmunes y metabólicas. Un ejemplo es la suplementación con *Akkermansia muciniphila* pasteurizada, que en pacientes con síndrome metabólico mejoró la sensibilidad a la insulina y redujo marcadores inflamatorios (Depommier et al., 2019). Tales hallazgos sugieren que, a futuro, la modulación dirigida de especies específicas podría convertirse en una herramienta terapéutica de gran valor.

Desde una perspectiva de salud pública, la evidencia enfatiza la importancia de patrones dietéticos globales en lugar de alimentos aislados para el mantenimiento de una microbiota favorable. En este sentido, la dieta mediterránea ha sido identificada como un patrón particularmente beneficioso al asociarse con una menor inflamación de bajo grado y con un perfil microbiano más diverso y estable (Ghosh et al., 2020). En el campo deportivo, la modulación de la microbiota mediante probióticos y estrategias nutricionales adecuadas se ha vinculado a una menor incidencia de infecciones respiratorias, una recuperación más rápida tras esfuerzos intensos y una mayor eficiencia en la utilización de energía durante la práctica física (Jäger et al., 2019).

En resumen, estos hallazgos refuerzan la idea de que la microbiota intestinal constituye un objetivo estratégico en la investigación aplicada tanto a la salud como al rendimiento deportivo. El eje intestino-cerebro, la nutrición de precisión y las intervenciones terapéuticas o preventivas no deben entenderse como líneas aisladas, sino como partes complementarias de un enfoque integral. Esta visión permite anticipar que, en los próximos años, la investigación en microbiota se consolidará como un pilar en el desarrollo de programas personalizados, que integren dieta, ejercicio y estrategias de modulación microbiana, con el fin de mejorar la salud general y maximizar el rendimiento físico y psicológico de los individuos.

| ESTUDIO | MÉTODO | RESULTADOS |
|--|---|--|
| Bercik et al. (2011); Holscher (2017) | Investigaciones sobre el eje intestino-cerebro y ensayos con suplementación probiótica en humanos | Se demostró que la microbiota participa en la síntesis de neurotransmisores como serotonina, dopamina y GABA; la suplementación con probióticos redujo la ansiedad y fatiga en individuos bajo estrés, con implicaciones para la resiliencia psicológica en atletas. |
| Zeevi et al. (2015); David et al. (2014); Valdes et al. (2018) | Estudios de nutrición de precisión utilizando técnicas de secuenciación y análisis de respuesta metabólica individual | Se observó que la respuesta a una misma dieta depende del perfil microbiano inicial, afectando la tolerancia a macronutrientes y la glucemia posprandial. Se destaca el potencial de estrategias nutricionales personalizadas para mejorar rendimiento, recuperación y salud cardiovascular. |

| | | |
|--|--|--|
| Everard et al. (2013); Depommier et al. (2019) | Ensayos clínicos y terapéuticos con probióticos, prebióticos, simbióticos y trasplante de microbiota fecal | La modulación microbiana mostró beneficios en enfermedades inflamatorias, autoinmunes y metabólicas. Akkermansia muciniphila pasteurizada mejoró sensibilidad a la insulina y redujo inflamación en síndrome metabólico. |
| Ghosh et al. (2020); Jäger et al. (2019) | Estudios sobre patrones dietéticos y estrategias nutricionales en población general y deportiva | La dieta mediterránea se asoció con un perfil microbiano más diverso y menor inflamación. En deportistas, la modulación microbiana redujo infecciones respiratorias, aceleró la recuperación y mejoró la eficiencia energética durante el ejercicio. |

Tabla 5. Resultados principales de la literatura sobre aspectos emergentes y perspectivas actuales

6.7. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES PREVIAS RELEVANTES

Durante las dos últimas décadas, la relación entre microbiota intestinal, dieta y ejercicio físico ha sido objeto de un interés creciente, generando un cuerpo de evidencia que ha permitido identificar mecanismos fisiológicos, moleculares y bioquímicos que explican cómo estos factores interactúan para influir en la salud y el rendimiento humano. Una de las contribuciones más significativas provino de Clarke et al. (2014), quienes compararon jugadores de rugby profesional con individuos sedentarios y encontraron que los atletas presentaban una microbiota intestinal más diversa y con mayor abundancia de especies bacterianas productoras de metabolitos beneficiosos. Este hallazgo supuso un punto de inflexión en el campo, ya que permitió establecer que la actividad física regular está asociada a un perfil microbiano más favorable, independientemente de otros determinantes de salud.

Posteriormente, los avances fueron confirmados y ampliados por Barton et al. (2018), quienes observaron que la microbiota de atletas de distintas disciplinas mostraba no solo mayor diversidad, sino también capacidades metabólicas superiores, incluyendo una síntesis más eficiente de ácidos grasos de cadena corta, un metabolismo de aminoácidos optimizado y una mayor capacidad para degradar carbohidratos. Tales adaptaciones microbianas se han vinculado con mejoras en la recuperación muscular, en la disponibilidad energética y en la modulación de la inflamación, elementos claves para el rendimiento atlético sostenido.

Más allá de estudios transversales, algunos trabajos de intervención han evidenciado cambios específicos inducidos por el entrenamiento. Allen et al. (2018) realizaron un programa de seis semanas de ejercicio aeróbico en adultos sedentarios y documentaron un incremento en bacterias productoras de butirato, como *Faecalibacterium prausnitzii*, especialmente en sujetos con índice de masa corporal bajo. Sin embargo, los autores señalaron que estos efectos eran reversibles, ya que tras finalizar el programa la microbiota retornaba a su estado inicial, lo que indica que los beneficios dependen de la práctica continua y no de intervenciones aisladas.

En el ámbito de la dieta, David et al. (2014) demostraron que las respuestas de la microbiota a patrones alimentarios específicos dependen en gran medida del perfil microbiano basal de cada individuo, reforzando la necesidad de avanzar hacia estrategias de nutrición de precisión que integren tanto la dieta como el ejercicio en función de características individuales. Por su parte, Valdes et al. (2018) destacaron que la disbiosis intestinal se encuentra asociada a una mayor incidencia de obesidad, diabetes tipo 2 y otros trastornos metabólicos, condiciones que pueden prevenirse o mitigarse mediante la combinación de programas de actividad física y dietas ricas en fibra y compuestos prebióticos.

| ESTUDIO | MÉTODO | RESULTADOS |
|----------------------|--|---|
| Clarke et al. (2014) | Estudio transversal comparativo entre jugadores de rugby profesional y sujetos sedentarios | Los atletas presentaron una microbiota intestinal más diversa y abundante en especies productoras de metabolitos beneficiosos, asociándose la actividad física regular con un perfil microbiano más favorable. |
| Barton et al. (2018) | Análisis comparativo de la microbiota en atletas de diferentes disciplinas | Se observó mayor diversidad microbiana y capacidades metabólicas superiores (síntesis de AGCC, metabolismo de aminoácidos y degradación de carbohidratos), relacionadas con mejoras en recuperación muscular, disponibilidad energética y modulación de la inflamación. |
| Allen et al. (2018) | Intervención de 6 semanas de ejercicio aeróbico en adultos sedentarios | Aumentaron las bacterias productoras de butirato (como <i>Faecalibacterium prausnitzii</i>), especialmente en sujetos con bajo IMC; sin embargo, los cambios revirtieron tras finalizar el programa, indicando la necesidad de ejercicio continuo. |
| David et al. (2014) | Estudio sobre respuesta microbiana a diferentes patrones dietéticos en función del perfil basal individual | Se demostró que la respuesta microbiana depende del microbioma inicial, reforzando la importancia de estrategias personalizadas de nutrición y ejercicio. |
| Valdes et al. (2018) | Revisión de estudios clínicos y epidemiológicos sobre disbiosis y enfermedades metabólicas | Se encontró que la disbiosis se asocia con obesidad, diabetes tipo 2 y otros trastornos metabólicos, que pueden prevenirse con actividad física regular y dietas ricas en fibra y prebióticos. |

Tabla 5. Resultados principales de la literatura sobre antecedentes de investigaciones previas relevantes.

7. DISCUSIÓN

Esta revisión ha integrado la evidencia disponible en la literatura con respecto a la compleja interacción entre la microbiota intestinal, la dieta y el ejercicio físico, cubriendo un campo que se ha expandido de manera exponencial en los últimos años y que ahora constituye una piedra angular en la comprensión actual de la salud metabólica y el rendimiento físico.

Del análisis de los artículos seleccionados se desprende que la microbiota no es un simple conjunto de microorganismos, sino un ecosistema dinámico que puede modificarse bajo la presión de

factores dietéticos, de estilo de vida y de estrés físico, afectando a un número impresionante de procesos fisiológicos, desde el metabolismo energético hasta la respuesta inmune y las funciones cognitivas.

La relación íntima entre el tipo de dieta y la diversidad de la microbiota intestinal es una de las observaciones más reproducibles. En general, se ha respaldado por la investigación que una dieta alta en fibra, frutas, verduras, legumbres y alimentos fermentados fomenta la presencia de bacterias beneficiosas como *Faecalibacterium prausnitzii*, *Bifidobacterium* o *Akkermansia muciniphila*, que promueven la producción de ácidos grasos de cadena corta y un mejor control de la inflamación. En contraste, la dieta occidental rica en azúcares simples, grasas saturadas y productos ultraprocesados favorece una pérdida de diversidad junto con el crecimiento de especies proinflamatorias. Este contraste entre patrones dietéticos buenos y malos se observa en estudios de diversos diseños y poblaciones, lo que demuestra que la dieta es un factor importante y relativamente simple de manipular para lograr la homeostasis microbiana.

Las interacciones entre el ejercicio físico y la microbiota, que son similares a la dieta, tienen aspectos interesantes, aunque han sido menos investigadas. Nuestra colección de literatura analizada indica que el ejercicio constante de intensidad moderada se enriquece con una diversidad bacteriana general y se incrementa en aquellas especies relacionadas con el metabolismo eficiente de carbohidratos y grasas. En atletas profesionales, la microbiota muestra capacidades mejoradas de funcionalidad, con mayor capacidad de síntesis de metabolitos beneficiosos durante el esfuerzo físico. Pero no todos los efectos del ejercicio son beneficiosos aquí; se advierte sobre cargas excesivas (ejercicio, pero no entrenamiento) y el sobreentrenamiento que inducen disbiosis, mayor permeabilidad intestinal y aumento de la inflamación sistémica. Esta disyuntiva enfatiza la necesidad de una práctica equilibrada, que impacte el ejercicio como un modulador positivo en lugar de superar la capacidad de un organismo para adaptarse.

Una de las áreas de mayor crecimiento es la interacción entre la alimentación y el ejercicio. Algunos estudios muestran que los beneficios de una dieta rica en fibra o polifenoles son más pronunciados en combinación con la actividad física y que el ejercicio en sí mismo potencia la capacidad del intestino para utilizar metabolitos microbianos. Un ejemplo impresionante es la evolución de algunas bacterias, por ejemplo, del género *Veillonella*, que se adaptaron para metabolizar el lactato generado por el ejercicio en propionato, un ácido graso de cadena corta que proporciona energía adicional y aumenta la resistencia. Este resultado destaca cómo la microbiota se incorpora de manera integral en los efectos fisiológicos provocados por el ejercicio, en lugar de responder pasivamente al entorno metabólico, ejerciendo un papel genuinamente de apoyo en la mejora del rendimiento.

La importancia para la salud de estos resultados es extensa. Al asegurar que tu microbiota esté equilibrado, gracias a buenos hábitos, esto podría reducir las tasas de obesidad, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares, patologías que son altamente desafiantes para la salud pública. La interacción de una dieta saludable y el ejercicio regular no se limita al hecho de que ayuda a mantener un

peso equilibrado, sino que además ayuda en la modulación de los procesos inflamatorios y el fortalecimiento del sistema inmunológico. Esto convierte a la microbiota en un puente entre la prevención de enfermedades crónicas y la promoción de una vida saludable.

En el ámbito deportivo, las ventajas son igualmente convincentes. Una microbiota variada y estable se correlaciona con una mejor absorción de nutrientes, alta liberación de energía y una recuperación más rápida y menor susceptibilidad a infecciones. La salud intestinal emerge como un factor clave en la capacidad de un atleta para mantener niveles de rendimiento. Luego está el aspecto psicológico del eje intestino-cerebro: la microbiota interfiere con la síntesis de neurotransmisores y puede regular la respuesta al estrés, lo que puede tener un impacto significativo en cómo afrontamos la presión competitiva. Los resultados de la literatura revisada demuestran que el efecto de la microbiota se produce no solo en el rendimiento, sino también en la salud mental de los atletas.

Sin embargo, el área de estudio está lejos de ser perfecta. Los tamaños de muestra en la mayoría de los trabajos publicados son pequeños para hacer generalizaciones sobre los hallazgos. La mayoría de los estudios son observacionales y la evidencia sobre causa y efecto es bastante baja. Además, los métodos son extremadamente diversos: algunos utilizan 16S rRNA, mientras que otros utilizan metagenómica o metabolómica, lo que hace que las comparaciones sean muy desafiantes. Además, no hay acuerdo sobre los parámetros específicos que deben usarse para caracterizar una microbiota saludable, más allá de la diversidad general o la presencia de algunos taxones. Esta falta de estandarización forma una barrera para la traducción de resultados en aplicaciones.

Otra falla es que muchas intervenciones son cortas. Si bien se ha demostrado que la microbiota responde rápidamente a los cambios dietéticos o patrones de ejercicio, no está claro si las modificaciones se mantienen a lo largo del tiempo o si son realmente reversibles una vez que se abandonan los buenos hábitos de vida. En los atletas, la variabilidad a nivel individual es bastante alta: dos individuos con el mismo entrenamiento y dieta pueden exhibir respuestas microbianas muy diferentes, lo que justifica estrategias personalizadas.

Las deficiencias metodológicas de este estudio y las direcciones para futuras investigaciones deben esforzarse por abordar estas limitaciones metodológicas. Se necesitan estudios longitudinales con un número suficiente de establecimientos para detectar cambios estables de la microbiota a lo largo del tiempo. También serán necesarios enfoques personalizados para avanzar, perfilando el microbioma saludable preentrenamiento y diseñando dietas y entrenamientos a medida para cada sujeto. La aplicación de enfoques globales a múltiples escalas conducirá a una comprensión más profunda sobre cómo la microbiota modula el metabolismo y el rendimiento. También es muy importante investigar la conexión entre la microbiota y la salud mental, particularmente en condiciones deportivas, en las que el estrés y las demandas psicológicas juegan un papel vital.

El debate internacional sobre los hallazgos demuestra que el cuidado de la microbiota no debe percibirse como una distracción, sino como una prioridad en la promoción de la salud pública y en la

planificación del rendimiento atlético. La nutrición equilibrada y el ejercicio son medidas simples y asequibles que tienen un impacto significativo en la calidad de vida y el rendimiento físico. Llevar ese conocimiento a la clínica requiere un cambio de mentalidad: los médicos, dietistas, entrenadores y responsables de políticas de salud deben estar dispuestos a aceptar el hecho de ese ecosistema intestinal y estar dispuestos a abogar por formas de fortalecerlo.

8. CONCLUSIONES

El presente trabajo ha permitido reunir y analizar la evidencia disponible acerca de la relación entre la microbiota intestinal, la alimentación y el ejercicio físico, con especial atención a las implicaciones que estos factores tienen en la salud y en el rendimiento deportivo. Lo que en un principio se consideraba un tema de interés limitado a la digestión y al metabolismo energético, se ha transformado en un campo amplio que conecta aspectos inmunológicos, endocrinos, neurológicos y psicológicos. La microbiota se entiende hoy como un verdadero órgano metabólico, con capacidad de regular múltiples funciones fisiológicas y de responder de manera directa a los hábitos de vida de cada individuo.

Los estudios revisados coinciden en que la microbiota intestinal desempeña un papel determinante en el equilibrio del organismo. La producción de ácidos grasos de cadena corta a partir de la fermentación de fibras, la regulación del sistema inmunitario, el mantenimiento de la barrera intestinal y la modulación de la inflamación constituyen funciones esenciales que explican por qué su estado de equilibrio es tan importante para la salud. Cuando se produce una disbiosis, entendida como pérdida de diversidad o alteración funcional de la comunidad microbiana, el riesgo de obesidad, resistencia a la insulina, enfermedades inflamatorias y problemas gastrointestinales aumenta de manera significativa. En este sentido, la microbiota aparece no solo como un marcador de salud, sino como un mediador directo en la aparición o prevención de distintas patologías.

La alimentación es uno de los factores más influyentes sobre la microbiota y, al mismo tiempo, uno de los más fáciles de modificar. Los patrones dietéticos ricos en fibra, frutas, verduras, legumbres, cereales integrales, alimentos fermentados y grasas insaturadas generan un ecosistema intestinal diverso y estable, favoreciendo bacterias que producen metabolitos beneficiosos como el butirato. En cambio, las dietas occidentales, basadas en azúcares refinados, grasas saturadas y ultraprocesados, reducen la diversidad bacteriana y potencian la proliferación de especies proinflamatorias. Un aspecto que la literatura destaca con claridad es la rapidez con la que la dieta puede modificar la microbiota: los cambios positivos aparecen a las pocas semanas de una intervención adecuada, pero también pueden revertirse con rapidez si se abandona el patrón saludable. Esta plasticidad refuerza la idea de que la alimentación debe entenderse como una herramienta preventiva y terapéutica de primera línea.

El ejercicio físico constituye el segundo gran modulador de la microbiota intestinal. La práctica regular de actividad física, especialmente de intensidad moderada, favorece el incremento de la diversidad

bacteriana y la presencia de especies asociadas a un mejor metabolismo de la glucosa, a una mayor integridad de la mucosa intestinal y a una reducción de la inflamación. En deportistas se han descrito perfiles microbianos más robustos, con mayor capacidad para metabolizar nutrientes y producir energía de manera eficiente. Sin embargo, la literatura también advierte que el sobreentrenamiento o las cargas extremas sostenidas pueden tener un efecto contrario, favoreciendo la permeabilidad intestinal, el estrés oxidativo y la disbiosis. Esto implica que el ejercicio debe ser dosificado adecuadamente para obtener beneficios, del mismo modo que una dieta equilibrada debe ser mantenida de forma constante y no aplicada de forma intermitente.

Un aspecto clave que se desprende de la evidencia es la interacción entre dieta y ejercicio. Cuando ambos factores se combinan, los efectos sobre la microbiota son más profundos y duraderos. La dieta saludable proporciona los sustratos que favorecen a las bacterias beneficiosas, mientras que el ejercicio incrementa la eficiencia con la que esos metabolitos son utilizados por el organismo. Se trata de una relación de sinergia en la que cada uno potencia la acción del otro. Incluso se ha demostrado que la microbiota puede adaptarse específicamente a las condiciones creadas por la actividad física, como es el caso de bacterias que transforman el lactato en propionato, aportando energía adicional y mejorando la resistencia. Esto refleja que el ecosistema intestinal no es solo un receptor pasivo de cambios, sino un mediador activo en la mejora del rendimiento deportivo.

Las implicaciones de estos hallazgos para la salud pública son evidentes. En una sociedad marcada por la alta prevalencia de obesidad, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares, promover patrones de alimentación saludables y la práctica regular de ejercicio no solo contribuye a controlar el peso corporal, sino también a mantener una microbiota equilibrada que reduzca la inflamación y mejore la sensibilidad a la insulina. Desde esta perspectiva, cuidar la microbiota no es un lujo reservado a la investigación, sino una estrategia accesible y eficaz para prevenir enfermedades crónicas y mejorar la calidad de vida de la población general.

En el ámbito deportivo, las aplicaciones son igualmente relevantes. La recuperación tras el esfuerzo, la disponibilidad energética, la tolerancia al entrenamiento intenso y la resistencia a infecciones parecen estar vinculadas con la composición y funcionalidad de la microbiota. Un ecosistema intestinal diverso y estable no solo facilita la absorción y utilización de nutrientes, sino que también protege frente al estrés fisiológico asociado a la competición. La salud intestinal puede ser, por tanto, un factor determinante en el rendimiento de un atleta. Además, la relación entre microbiota y salud mental, mediada por el eje intestino-cerebro, abre nuevas posibilidades para mejorar la resiliencia psicológica, reducir la ansiedad y optimizar la concentración en el deporte de alto nivel.

No obstante, este campo todavía presenta limitaciones que impiden generalizar recomendaciones precisas. Muchos estudios cuentan con muestras pequeñas, metodologías distintas y periodos de intervención demasiado cortos. La variabilidad individual en la respuesta a la dieta y al ejercicio es enorme, lo que hace que no todos los individuos se beneficien de la misma manera. Además,

aún no existe consenso sobre qué marcadores deben usarse para definir una microbiota saludable. Todo ello exige cautela al interpretar los resultados y refuerza la necesidad de investigaciones más robustas, con diseños longitudinales, mayor tamaño muestral y metodologías estandarizadas.

La dirección futura apunta hacia la nutrición de precisión y la personalización de las intervenciones en función del perfil microbiano de cada persona. La integración de herramientas sistémicas permitirá conocer no solo qué bacterias están presentes, sino qué funciones realizan y cómo interactúan con el metabolismo humano. Esta información, combinada con datos clínicos y deportivos, permitirá diseñar programas personalizados de alimentación y entrenamiento que optimicen tanto la salud como el rendimiento.

La reflexión final que deja este trabajo es que la microbiota debe considerarse un elemento central en el diseño de estrategias de salud y deporte. Cuidar este ecosistema mediante una alimentación equilibrada y la práctica regular de ejercicio no debe verse como una recomendación secundaria, sino como un pilar básico al mismo nivel que la planificación de macronutrientes o las rutinas de entrenamiento. Integrar esta perspectiva permitirá avanzar hacia un enfoque más completo, en el que la salud metabólica, la función inmunológica, el rendimiento físico y el bienestar psicológico se aborden de manera conjunta.

En conclusión, la revisión realizada confirma que la microbiota intestinal constituye el eslabón que conecta la dieta y el ejercicio con la salud integral y el rendimiento deportivo. Su modulación consciente a través de hábitos de vida saludables representa una oportunidad única para prevenir enfermedades, mejorar la calidad de vida y potenciar el rendimiento humano en contextos exigentes. El reto, a partir de ahora, consiste en trasladar este conocimiento científico a la práctica diaria de la población general, los profesionales de la salud y los entrenadores, garantizando que el cuidado de la microbiota forme parte natural de las estrategias de promoción de la salud y de optimización del rendimiento deportivo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, J. M., Mailing, L. J., Niemi, G. M., Moore, R., Cook, M. D., White, B. A., Holscher, H. D., & Woods, J. A. (2018). Exercise alters gut microbiota composition and function in lean and obese humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 50(4), 747–757. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001495>
- Ang, Q. Y., Alexander, M., Newman, J. C., Tian, Y., Cai, J., Upadhyay, V., ... Turnbaugh, P. J. (2020). Ketogenic diets alter the gut microbiome resulting in decreased intestinal Th17 cells. *Cell*, 181(6), 1263–1275.e16. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.027>
- Barton, W., Penney, N. C., Cronin, O., Garcia-Perez, I., Molloy, M. G., Holmes, E., Shanahan, F., Cotter, P. D., & O'Sullivan, O. (2018). The microbiome of professional athletes differs from that of more sedentary

subjects in composition and particularly at the functional metabolic level. *Gut*, 67(4), 625–633.

<https://doi.org/10.1136/gutjnl-2016-313627>

Belkaid, Y., & Hand, T. W. (2014). Role of the microbiota in immunity and inflammation. *Cell*, 157(1), 121–141. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.011>

Bercik, P., Denou, E., Collins, J., Jackson, W., Lu, J., Jury, J., ... Collins, S. M. (2011). The intestinal microbiota affect central levels of brain-derived neurotrophic factor and behavior in mice. *Gastroenterology*, 141(2), 599–609.e3. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2011.04.052>

Berg, G., Rybakova, D., Fischer, D., Cernava, T., Champomier Vergès, M.-C., Charles, T., Chen, X., Cocolin, L., Eversole, K., Corral, G. H., Kazou, M., Kinkel, L., Lange, L., Lima, N., Loy, A., Macklin, J. A., Maguin, E., Mauchline, T., McClure, R., ... Smalla, K. (2020). Microbiome definition re-visited: Old concepts and new challenges. *Microbiome*, 8, 103. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00875-0>

Bielik, V., Hric, I., Ugrayová, S., Kubáňová, L., Putala, M., Grznár, Ľ., Penesová, A., Havranová, A., Šardzíkova, S., Grendar, M., Baranovičová, E., Šoltys, K., & Kolisek, M. (2022). Effect of high-intensity training and probiotics on gut microbiota diversity in competitive swimmers: Randomized controlled trial. *Sports Medicine - Open*, 8(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s40798-022-00453-8>

Birkeland, E., Gharagozlian, S., Birkeland, K. I., Valeur, J., Måge, I., Rud, I., Aas, A. M., & Holst, J. J. (2020). Prebiotic effect of inulin-type fructans on faecal microbiota and short-chain fatty acids in type 2 diabetes: A randomized controlled trial. *European Journal of Nutrition*, 59(7), 3325–3338. <https://doi.org/10.1007/s00394-020-02277-0>

Chassaing, B., Koren, O., Goodrich, J. K., Poole, A. C., Srinivasan, S., Ley, R. E., & Gewirtz, A. T. (2015). Dietary emulsifiers impact the mouse gut microbiota promoting colitis and metabolic syndrome. *Nature*, 519(7541), 92–96. <https://doi.org/10.1038/nature14232>

Clarke, S. F., Murphy, E. F., O'Sullivan, O., Lucey, A. J., Humphreys, M., Hogan, A., ... Cotter, P. D. (2014). Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. *Gut*, 63(12), 1913–1920. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2013-306541>

Clarke, S. F., Murphy, E. F., O'Sullivan, O., Ross, R. P., O'Toole, P. W., Shanahan, F., & Cotter, P. D. (2013). Targeting the microbiota to address diet-induced obesity: A time dependent challenge. *PLoS ONE*, 8(6), e65790. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065790>

Conlon, M. A., & Bird, A. R. (2015). The impact of diet and lifestyle on gut microbiota and human health. *Nutrients*, 7(1), 17–44. <https://doi.org/10.3390/nu7010017>

Cronin, P., Joyce, S. A., O'Toole, P. W., & O'Connor, E. M. (2021). Dietary fibre modulates the gut microbiota. *Nutrients*, 13(5), 1655. <https://doi.org/10.3390/nu13051655>

- David, L. A., Maurice, C. F., Carmody, R. N., Gootenberg, D. B., Button, J. E., Wolfe, B. E., Ling, A. V., Devlin, A. S., Varma, Y., Fischbach, M. A., Biddinger, S. B., Dutton, R. J., & Turnbaugh, P. J. (2014). Diet rapidly and reproducibly alters the human gut microbiome. *Nature*, 505(7484), 559–563. <https://doi.org/10.1038/nature12820>
- De Filippis, F., Pellegrini, N., Vannini, L., Jeffery, I. B., La Storia, A., Laghi, L., ... Ercolini, D. (2016). High-level adherence to a Mediterranean diet beneficially impacts the gut microbiota and associated metabolome. *Gut*, 65(11), 1812–1821. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-309957>
- De Giani, A., Sandionigi, A., Zampolli, J., Michelotti, A., Tursi, F., Labra, M., & Di Gennaro, P. (2022). Effects of inulin-based prebiotics alone or in combination with probiotics on human gut microbiota and markers of immune system: A randomized, double-blind, placebo-controlled study in healthy subjects. *Microorganisms*, 10(6), 1256. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10061256>
- Depommier, C., Everard, A., Druart, C., Plovier, H., Van Hul, M., Vieira-Silva, S., ... Cani, P. D. (2019). Supplementation with *Akkermansia muciniphila* in overweight and obese human volunteers: A proof-of-concept exploratory study. *Nature Medicine*, 25(7), 1096–1103. <https://doi.org/10.1038/s41591-019-0495-2>
- Durazzi, F., Sala, C., Castellani, G., Manfreda, G., Remondini, D., & De Cesare, A. (2021). Comparison between 16S rRNA and shotgun sequencing data for the taxonomic characterization of the gut microbiota. *Scientific Reports*, 11, 3030. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82726-y>
- Estaki, M., Pither, J., Baumeister, P., Little, J. P., Gill, S. K., Ghosh, S., & Gibson, D. L. (2016). Cardiorespiratory fitness as a predictor of intestinal microbial diversity and distinct metagenomic functions. *Microbiome*, 4(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s40168-016-0189-7>
- Everard, A., Belzer, C., Geurts, L., Ouwerkerk, J. P., Druart, C., Bindels, L. B., Guiot, Y., Derrien, M., Muccioli, G. G., Delzenne, N. M., de Vos, W. M., & Cani, P. D. (2013). Cross-talk between *Akkermansia muciniphila* and intestinal epithelium controls diet-induced obesity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(22), 9066–9071. <https://doi.org/10.1073/pnas.1219451110>
- Facchin, S., Vitulo, N., Perini, B., Palatini, J., Morelli, L., & Bassi, C. (2024). Short-chain fatty acids and human health: Metabolism, physiology and clinical relevance. *Nutrients*, 16(1), 123. <https://doi.org/10.3390/nu16010123>
- Ghosh, T. S., Rampelli, S., Jeffery, I. B., Santoro, A., Neto, M., Capri, M., Giampieri, E., Jennings, A., Candela, M., Turrone, S., Zoetendal, E. G., Hermes, G. D. A., Elodie, C., Meunier, N., Brugere, C. M., Pujos-Guillot, E., Berendsen, A. M., De Groot, L. C. P. G. M., Feskens, E. J. M., ... O'Toole, P. W. (2020). Mediterranean diet intervention alters the gut microbiome in older people reducing frailty and improving health status: The NU-AGE 1-year dietary intervention across five European countries. *Gut*, 69(7), 1218–1228. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-319654>

- Haro, C., García-Carpintero, S., Alcala-Diaz, J. F., Gómez-Delgado, F., Delgado-Lista, J., Pérez-Martínez, P., ... Clemente, J. C. (2016). The gut microbial community in metabolic syndrome patients is modified by diet. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 27, 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2015.08.011>
- 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>
- Jäger, R., Mohr, A. E., Carpenter, K. C., Kerksick, C. M., Purpura, M., Moussa, A., & Townsend, J. R. (2019). International Society of Sports Nutrition position stand: Probiotics. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 16(1), 62. <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0329-0>
- Jiang, S., Xie, S., Lv, D., Zhang, Y., Deng, J., Zeng, L., & Chen, Y. (2016). A reduction in the butyrate producing species *Roseburia* spp. and *Faecalibacterium prausnitzii* is associated with chronic kidney disease progression. *Antonie van Leeuwenhoek*, 109(10), 1389-1396. <https://doi.org/10.1007/s10482-016-0737-y>
- Karl, J. P., Margolis, L. M., Madslien, E. H., Murphy, N. E., Castellani, J. W., Gundersen, Y., Hoke, A. V., Levangie, M. W., Kumar, R., Chakraborty, N., Gautam, A., Hammamieh, R., Martini, S., & Montain, S. J. (2017). Changes in intestinal microbiota composition and metabolism coincide with increased intestinal permeability in young adults under prolonged physiological stress. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 312(6), G559–G571. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.00066.2017>
- Lamprecht, M., Bogner, S., Schippinger, G., Steinbauer, K., Fankhauser, F., Hallstroem, S., Schuetz, B., & Greilberger, J. F. (2012). Probiotic supplementation affects markers of intestinal barrier, oxidation, and inflammation in trained men; a randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-45>
- Lensu, S., & Pekkala, S. (2021). Gut microbiota, microbial metabolites and human physical performance. *Metabolites*, 11(11), 716. <https://doi.org/10.3390/metabo11110716>
- Liu, Y., Wang, Y., Ni, Y., Cheung, C. K. Y., Lam, K. S. L., Wang, Y., ... & Xu, A. (2020). Gut microbiome fermentation determines the efficacy of exercise for diabetes prevention. *Cell Metabolism*, 34(7), 1089–1102.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2022.05.014>
- Magne, F., Gotteland, M., Gauthier, L., Zazueta, A., Pesoa, S., Navarrete, P., & Balamurugan, R. (2020). The Firmicutes/Bacteroidetes ratio: A relevant marker of gut dysbiosis in obese patients? *Nutrients*, 12(5), 1474. <https://doi.org/10.3390/nu12051474>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., ... Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>

- Menni, C., Lin, C., Cecelja, M., Mangino, M., Matey-Hernandez, M. L., Keehn, L., ... Valdes, A. M. (2018). Gut microbiome diversity and high-fibre intake are related to lower arterial stiffness in women. *European Heart Journal*, 39(14), 1241–1250. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx649>
- Miquel, S., Martín, R., Rossi, O., Bermúdez-Humarán, L. G., Chatel, J. M., Sokol, H., Thomas, M., Wells, J. M., & Langella, P. (2013). Faecalibacterium prausnitzii and human intestinal health. *Current Opinion in Microbiology*, 16(3), 255–261. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2013.06.003>
- Mohr, A. E., Jäger, R., Carpenter, K. C., Kerkick, C. M., Purpura, M., Townsend, J. R., West, N. P., & Black, K. E. (2020). The athletic gut microbiota. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 17(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00353-w>
- Monda, V., Villano, I., Messina, A., Valenzano, A., Esposito, T., Moscatelli, F., Viggiano, A., Cibelli, G., Chieffi, S., & Monda, M. (2017). Exercise modifies the gut microbiota with positive health effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017, 3831972. <https://doi.org/10.1155/2017/3831972>
- Morrison, D. J., & Preston, T. (2016). Formation of short chain fatty acids by the gut microbiota and their impact on human metabolism. *Gut Microbes*, 7(3), 189–200. <https://doi.org/10.1080/19490976.2015.1134082>
- Rodríguez-Daza, M. C., & de Vos, W. M. (2022). Polyphenols as drivers of a homeostatic gut microecology and immuno-metabolic traits of *Akkermansia muciniphila*: From mouse to man. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1), 45. <https://doi.org/10.3390/ijms24010045>
- Rousta, E., Oka, A., Liu, B., Herzog, J., Bhatt, A. P., Wang, J., Habibi Najafi, M. B., & Sartor, R. B. (2021). The emulsifier carboxymethylcellulose induces more aggressive colitis in humanized mice with inflammatory bowel disease microbiota than polysorbate-80. *Nutrients*, 13(10), 3565. <https://doi.org/10.3390/nu13103565>
- Russell, W. R., Gratz, S. W., Duncan, S. H., Holtrop, G., Ince, J., Scobbie, L., Duncan, G., Johnstone, A. M., Lobley, G. E., Wallace, R. J., Duthie, G. G., & Flint, H. J. (2011). High-protein, reduced-carbohydrate weight-loss diets promote metabolite profiles likely to be detrimental to colonic health. *American Journal of Clinical Nutrition*, 93(5), 1062–1072. <https://doi.org/10.3945/ajcn.110.002188>
- Silva, Y. P., Bernardi, A., & Frozza, R. L. (2020). The role of short-chain fatty acids from gut microbiota in gut-brain communication. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 25. <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.00025>
- Staudacher, H. M., Lomer, M. C. E., Farquharson, F. M., Louis, P., Fava, F., Franciosi, E., ... Whelan, K. (2017). A diet low in FODMAPs reduces symptoms in patients with irritable bowel syndrome and alters luminal microbiota composition. *Gut*, 66(5), 970–978. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2015-311339>
- Suez, J., Cohen, Y., Valdés-Mas, R., Mor, U., Dori-Bachash, M., Federici, S., Zmora, N., Leshem, A., Heinemann, M., Linevsky, R., Zur, M., Ben-Zeev Brik, R., Bukimer, A., Eliyahu-Miller, S., Metz, A., Fischbein, R., Sharov, O., Malitsky, S., Itkin, M., Stettner, N., Harmelin, A., Shapiro, H., Stein-Thoeringer, C.

- K., Segal, E., & Elinav, E. (2022). Personalized microbiome-driven effects of non-nutritive sweeteners on human glucose tolerance. *Cell*, 185(18), 3307–3328.e19. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.07.016>
- Tomova, A., Bukovsky, I., Rembert, E., Yonas, W., Alwarith, J., Barnard, N. D., & Kahleova, H. (2019). The effects of vegetarian and vegan diets on gut microbiota. *Frontiers in Nutrition*, 6, 47. <https://doi.org/10.3389/fnut.2019.00047>
- Valdes, A. M., Walter, J., Segal, E., & Spector, T. D. (2018). Role of the gut microbiota in nutrition and health. *BMJ*, 361, k2179. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2179>
- Vila, A. V., Collij, V., Sanna, S., Sinha, T., Imhann, F., Bourgonje, A. R., Mujagic, Z., Jonkers, D. M. A. E., Masclee, A. A. M., Fu, J., Kurilshikov, A., Wijmenga, C., & Zhernakova, A. (2024). Impact of commonly used drugs on the composition and metabolic function of the gut microbiota. *Nature Communications*, 15(1), 432. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-44464-7>
- Vulevic, J., Juric, A., Tzortzis, G., & Gibson, G. R. (2013). A mixture of trans-galactooligosaccharides reduces markers of metabolic syndrome and modulates the fecal microbiota and immune function of overweight adults. *Journal of Nutrition*, 143(3), 324–331. <https://doi.org/10.3945/jn.112.166132>
- Wastyk, H. C., Fragiadakis, G. K., Perelman, D., Dahan, D., Merrill, B. D., Yu, F. B., Topf, M., Gonzalez, C. G., Van Treuren, W., Han, S., Robinson, J. L., Elias, J. E., Sonnenburg, E. D., Gardner, C. D., & Sonnenburg, J. L. (2021). Gut-microbiota-targeted diets modulate human immune status. *Cell*, 184(16), 4137–4153.e14. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2021.06.019>
- Watson, H., Mitra, S., Croden, F. C., Taylor, M., Wood, H. M., Perry, S. L., Spencer, J. A., Quirke, P., Toogood, G. J., Lawton, C. L., Dye, L., Loadman, P. M., & Hull, M. A. (2018). A randomised trial of the effect of omega-3 polyunsaturated fatty acid supplements on the human intestinal microbiota. *Gut*, 67(11), 1974–1983. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2017-314968>
- Wu, G. D., Chen, J., Hoffmann, C., Bittinger, K., Chen, Y. Y., Keilbaugh, S. A., Bewtra, M., Knights, D., Walters, W. A., Knight, R., Sinha, R., Gilroy, E., Gupta, K., Baldassano, R., Nessel, L., Li, H., Bushman, F. D., & Lewis, J. D. (2011). Linking long-term dietary patterns with gut microbial enterotypes. *Science*, 334(6052), 105–108. <https://doi.org/10.1126/science.1208344>
- Zeevi, D., Korem, T., Zmora, N., Israeli, D., Rothschild, D., Weinberger, A., Ben-Yacov, O., Lador, D., Avnit-Sagi, T., Lotan-Pompan, M., Suez, J., Mahdi, J. A., Matot, E., Malka, G., Kosower, N., Rein, M., Zilberman-Schapira, G., Dohnalová, L., Pevsner-Fischer, M., ... Segal, E. (2015). Personalized nutrition by prediction of glycemic responses. *Cell*, 163(5), 1079–1094. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.11>