

TRABAJO FINAL DE GRADO

**“CONSUMO DE HIDRATOS DE CARBONO SIMPLES
COMO ESTRATEGIA NUTRICIONAL
Y SU EFECTO SOBRE LA MICROBIOTA
EN CORREDORES DE LARGA DISTANCIA:
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**



Alumna:

Scotti Mariana

Directora:

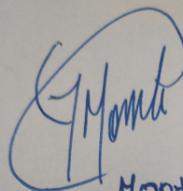
Lic. Gianina Montenegro

Abril 2025

NOTA DE ACEPTACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO FINAL DE CARRERA

Por medio de la presente, certifico que el Trabajo Final de Carrera de la estudiante Mariana Scotti "*Consumo de hidratos de carbono simples como estrategia nutricional y su efecto sobre la microbiota en corredores de larga distancia: revisión bibliográfica*" ha sido evaluado, estando en condiciones de poder presentarse para su posterior defensa ante un jurado.

Firma



Montenegro
Gianina

AGRADECIMIENTOS

Al finalizar este trabajo, quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este Trabajo Final de Carrera.

En primer lugar, agradezco a Francisco y Jacinta quienes han sido mi pilar constante de apoyo y motivación. A mi mamá y a mi papá, por brindarme las herramientas y el entusiasmo para ir atrás de mis objetivos académicos.

Gracias a mis amigos y amigas por recordarme que nunca es tarde.

Gracias a mis compañeros y compañeras por hacer estos años más enriquecedores.

Gracias a la Universidad Nacional de Río Negro, y a todos los docentes que me acompañaron en el camino.

Deseo extender mi gratitud especialmente a Gianina Montenegro, por su guía, paciencia y consejos. Su dedicación y entusiasmo por la investigación han sido una bendición en el camino.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS.....	8
RESÚMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
2.1. Deportes de resistencia y fuentes de energía.....	12
2.2. La microbiota, un ecosistema en estudio.....	13
2.3. Incidencia del consumo de hidratos de carbono en la microbiota intestinal	15
2.4. Microbiota intestinal y deporte.....	15
3. MARCOTEÓRICO.....	16
3.1. Deportes de resistencia.....	16
3.2. Resistencia y fisiología.....	16
3.3. Resistencia y combustible energético.....	17
3.4. Resistencia e hidratos de carbono.....	19
3.5. Diferencia entre hidratos de carbono simples y complejos.....	21
3.6. Estrategias nutricionales para el rendimiento.....	23
3.6.1. <i>Carga de hidratos de carbono antes de la competencia</i>	24
3.6.2. <i>Ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio</i>	25
3.6.3. <i>Recarga de hidratos de carbono post-ejercicio</i>	27
3.7. Fuentes de hidratos de carbono simples antes del entrenamiento y/o competencia.....	28
3.7.1. <i>Frutas</i>	28
3.7.2. <i>Jugos de frutas</i>	29
3.7.3. <i>Barras energéticas</i>	29
3.8. Fuentes de hidratos de carbono simples durante el entrenamiento y/o competencia.....	29
3.8.1. <i>Frutas secas</i>	29

3.8.2. Bebidas, gomitas y geles energéticos.....	30
3.9. Bebidas y geles energéticos.....	30
3.10. Microbiota intestinal.....	34
3.11. Características de la microbiota intestinal.....	35
3.12. Factores que afectan a la microbiota intestinal: Disbiosis.....	35
3.12.1. Causas de la disbiosis intestinal.....	36
3.12.2. Consecuencias de la disbiosis intestinal.....	37
3.13. Microbiota intestinal y deportes de resistencia.....	38
3.14. Microbiota e hidratos de carbono.....	39
3.15. Microbiota y ácidos grasos de cadena corta.....	39
3.16. Función de la microbiota en el rendimiento deportivo.....	41
4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	42
4.1. Objetivos.....	42
4.1.1. Objetivo general.....	42
4.1.2. Objetivos específicos.....	42
4.2. Marco metodológico.....	42
4.3. Definición del problema.....	43
4.4. Estrategias de búsqueda.....	44
4.5. Variables del estudio.....	44
4.6. Selección de artículos.....	45
5. RESULTADOS.....	46
5.1. Resultados de la búsqueda: el proceso en etapas.....	46
5.2. Síntesis y redacción.....	47
5.3. Análisis de los resultados	48
5.3.1. Análisis de resultados según objetivos específicos	68
5.3.1.1. Resultados según objetivo específico #1	68
5.3.1.2. Resultados según objetivo específico #2	69
5.3.1.3. Resultados según objetivo específico #3	70
5.3.1.4. Resultados según objetivo específico #4	71
5.3.1.5. Resultados según objetivo específico #5	72

6. DISCUSIÓN.....	74
6.1. Efectos de los azúcares simples en la diversidad microbiana.....	74
6.1.1. <i>Disminución de la diversidad microbiana.....</i>	<i>74</i>
6.1.2. <i>Alteraciones en géneros bacterianos específicos.....</i>	<i>75</i>
6.2. Producción insuficiente de ácidos grasos de cadena corta.....	75
6.2.1. <i>Ácidos grasos de cadena corta y salud intestinal.....</i>	<i>75</i>
6.2.2. <i>Impacto en la función inmunológica.....</i>	<i>76</i>
6.3. Aumento de la permeabilidad intestinal y riesgo de inflamación.....	76
6.3.1. <i>"Intestino permeable" y azúcares simples.....</i>	<i>76</i>
6.3.2. <i>Respuesta inflamatoria sistémica.....</i>	<i>76</i>
6.4. Comparación con el impacto de los HCO complejos y la fibra.....	77
6.4.1. <i>Rol de los hidratos de carbono complejos.....</i>	<i>77</i>
6.5. Consecuencias a largo plazo del consumo elevado de azúcares simples.....	77
6.5.1. <i>Riesgo de disbiosis crónica.....</i>	<i>77</i>
7. CONCLUSIÓN.....	78
8. ANEXOS.....	80
8.1. Anexo I: Esquema general pregunta PICO.....	80
8.2. Anexo II: Escala de PEDro.....	80
9. BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategias nutricionales y no nutricionales para optimizar el potencial de resistencia en atletas	20
Figura 2. Composición nutricional de diferentes tipos de azúcares	22
Figura 3. Recomendaciones para la ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición nutricional de diferentes tipos de azúcares	23
Tabla 2. Recomendación de ingesta total de hidratos de carbono por hora (g/h)	26
Tabla 3. Relación glucosa : fructosa	27
Tabla 4. Duración del ejercicio	27
Tabla 5. Composición típica de las bebidas y geles energéticos comerciales	33
Tabla 6: Estructuración pregunta PICO	44
Tabla 7: Resultados de búsqueda bibliográfica en diferentes bases de datos según palabras clave	46
Tabla 8. Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada	49

ABREVIATURAS

- A. muciniphila:** *Akkermansia muciniphila*
- AG:** ácidos grasos
- AGCC:** ácidos grasos de cadena corta
- AINEs:** antiinflamatorios no esteroideos
- BCAA:** aminoácidos de cadena ramificada
- B. uniforms:** *Bacteroides uniformis*
- B. wexlerae:** *Blautia wexlerae*
- CV:** cardiovasculares
- C. aerofaciens:** *Collinsella aerofaciens*
- C. albicans:** *Candida albicans*
- C. difficile:** *Clostridium difficile*
- C. scindens:** *Catenibacillus scindens*
- DBT:** diabetes
- EII:** enfermedad inflamatoria intestinal
- EC:** enfermedad cardiovascular
- E. coli:** *Escherichia coli*
- E. halli:** *Eubacterium halli*
- E. rectale:** *Eubacterium rectale*
- F. prausnitzii:** *Faecalibacterium prausnitzii*
- F. rodentium:** *Faecalibaculum rodentium*
- GC:** grupo control
- G:** gramos
- HCO:** hidratos de carbono
- H:** hora
- ÍG:** índice glucémico
- KM:** kilómetros
- K. pneumoniae:** *Klebsiella pneumoniae*
- LPS:** lipopolisacáridos
- MI:** microbiota intestinal
- N/A:** no aplica
- R. intestinalis:** *Roseburia intestinalis*
- SII:** síndrome de intestino irritable

RESUMEN

Esta revisión bibliográfica examina los estudios publicados entre 2018 y 2024 (inclusive), centrándose en la interpretación y el análisis de los resultados de investigaciones que abordan cómo los hidratos de carbono en la dieta pueden influir en la composición y diversidad de la microbiota intestinal. A través de la identificación de temas claves y patrones interpretativos, esta revisión busca ofrecer una visión contextualizada de las posibles implicaciones del consumo de hidratos de carbono simples para la recarga de glucógeno y la mejora del rendimiento, en la salud intestinal de los corredores de larga distancia, revisando y relacionando la evidencia científica existente que aborde estas áreas de estudio.

OBJETIVO: Analizar la evidencia científica en corredores de larga distancia sobre la relación del consumo de azúcares simples y el impacto en su microbiota intestinal.

METODOLOGÍA: Se realizó una revisión bibliográfica de tipo retrospectiva y descriptiva. Se llevó a cabo una búsqueda en Google Académico, PubMed/Medline, SciELO, LILACS, IBECS, Biblioteca Cochrane sobre los temas "nutrición en corredores de larga distancia", "recarga de glucógeno", "microbiota intestinal", "salud intestinal", "disbiosis", "carbohidratos simples", "azúcares simples" buscando evidencia sobre microbiota en lo que respecta a los atletas de resistencia; en publicaciones entre el año 2018 y 2024. Se aplicaron operadores booleanos y filtros según criterios de inclusión y exclusión definidos.

RESULTADOS: Se obtuvieron 35 documentos en total los cuales se presentaron en una gráfica descriptiva. El análisis de la bibliografía reveló que el consumo de azúcares simples en corredores de larga distancia está asociado con alteraciones en la microbiota intestinal, reduciendo su diversidad y favoreciendo la proliferación de bacterias proinflamatorias. Asimismo, se observó una disminución en la producción de ácidos grasos de cadena corta, afectando la homeostasis intestinal y aumentando la permeabilidad intestinal. Por otro lado, una dieta rica en hidratos de carbono complejos y fibra dietética mostró efectos beneficiosos en la microbiota, promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas, favoreciendo la producción de ácidos grasos de cadena corta y reduciendo el riesgo de inflamación sistémica. Además, estrategias

nutricionales bien planificadas, incluyendo el uso de prebióticos y probióticos, pueden ayudar a mitigar los efectos negativos del consumo de azúcares simples en atletas de resistencia.

CONCLUSIÓN: El consumo elevado de azúcares simples puede afectar la microbiota intestinal de los corredores de larga distancia, promoviendo la disbiosis y el aumento de la inflamación. Los hallazgos sugieren que la composición y estabilidad de la microbiota intestinal en corredores de larga distancia pueden ser moduladas por la dieta, siendo clave priorizar fuentes de hidratos de carbono de calidad para optimizar el rendimiento y la salud intestinal. La evidencia científica destaca que una estrategia nutricional equilibrada, que combine hidratos de carbono complejos, fibras y polifenoles, favorece una microbiota diversa y funcional, optimizando tanto el rendimiento deportivo como la salud intestinal.

PALABRAS CLAVES: "nutrición en corredores de larga distancia", "recarga de glucógeno", "microbiota intestinal", "salud intestinal", "disbiosis", "carbohidratos simples", "azúcares simples".

1. INTRODUCCIÓN

La nutrición aplicada al deporte al día de hoy, cobró un interés que hace que más profesionales de la salud, acompañen y brinden herramientas a sus pacientes para la mejora del rendimiento. Así como el plan de alimentación es determinante para dicha mejora, es también un componente importante que influye en la composición y la función de la microbiota intestinal (MI). Esta, por un lado, resulta moldeada por el progreso de la medicina, los alimentos y el saneamiento y, también, se conecta con el aumento en la prevalencia de enfermedades no transmisibles impulsadas por la inflamación. Estas enfermedades se propagan junto con los factores del estilo de vida que alteran la MI. Estos factores son: alimentación -como ya se mencionó-, actividad física, consumo de tabaco y alcohol, descanso y manejo del estrés (Ortiz-Alvarez et al., 2020) (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019).

Una persona que realiza actividad física de resistencia programada y, además, sigue un plan de alimentación a cargo de un/a nutricionista está abarcando ya más de un factor influyente en el moldeado de su MI. La literatura científica brinda información y datos sobre la MI que respaldan la importancia de proteger este ecosistema para prevenir enfermedades y aumentar la esperanza de vida con buena calidad (Caballero Torres et al., 2023).

La relación entre el consumo de azúcares simples y la MI es un tema de interés. Sin embargo, en el contexto de los deportes de resistencia, donde comúnmente diferentes tipos de glucosa se utilizan como fuente de energía rápida, no existe al momento información concluyente sobre el estado de la microbiota por el consumo de las diferentes estrategias nutricionales para la optimización del rendimiento. Entonces, en corredores de larga distancia, ¿cómo afecta el consumo de azúcares simples en comparación con una dieta rica en hidratos de carbono complejos (HCO) a la composición y diversidad de la microbiota intestinal?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. Deportes de resistencia y fuentes de energía

El ejercicio de resistencia se puede definir como aquel que para la obtención de energía depende del metabolismo energético oxidativo (Onzari, 2016). Son ejemplo de esto las carreras de pie, el ciclismo, la natación, el esquí de cross-country o cualquier ejercicio aeróbico por tiempo prolongado. En este tipo de ejercicio cardiovascular, los HCO y grasas son los principales combustibles para la vía energética que se utiliza (Onzari, 2016), y por ende, las fuentes de dichos macronutrientes son relevantes para quienes practican estos deportes y/o aquellos profesionales de la salud que se encargan de armar planes de alimentación para acompañarlos. La intervención dietética nutricional en deportistas de resistencia - además de optimizar el estado nutricional- maximiza los efectos del entrenamiento, favorece el rendimiento deportivo, la recuperación y reduce el riesgo de enfermedades y lesiones (International Olympic Committee, 2011).

El hecho de que la ingesta de HCO durante el ejercicio prolongado pueda mejorar el rendimiento deportivo es conocido desde los años ochenta. Los HCO, simplemente, proporcionan un combustible extra, de tal modo que se ahorra en el gasto de los depósitos del cuerpo. Durante el ejercicio, las concentraciones de glucosa en sangre se mantienen con la ingesta de los HCO, ya que estas se reducirán a niveles bajos dentro de las 2-3 horas sin digerirlos. La toma de estos también mantiene las tasas elevadas de su utilización por el músculo que, en última instancia, ayudan a mantener la potencia (Onzari, 2016).

Los alimentos fuentes de HCO que se utilizan en los entrenamientos y/o competencias pueden ser variados, incluyendo productos industrializados que contienen componentes necesarios para los efectos deseados. Estos productos, se producen combinando ingredientes procesados con cantidades frecuentemente pequeñas de alimentos sin procesar o mínimamente procesados (Ley 27.642, 2021). Se les agrega ingredientes industriales con alto contenido de grasas, azúcares y/o sal, así como aditivos alimentarios (conservantes, colorantes, aromatizantes, etc.). En entrenamientos y competencias se utilizan, y algunos ejemplos son: gaseosas y aguas saborizadas, jugos de fruta endulzados, bebidas energizantes y deportivas, barritas energéticas y geles deportivos, hasta productos de copetín o snacks. Estos productos

no deberían formar parte de la alimentación diaria, ya que su consumo en exceso puede dañar la salud, aumentando el riesgo de que aparezcan condiciones de salud como la diabetes (DBT), hipertensión, enfermedad cardiovascular (EC) y cerebrovascular, entre otras (Ley 27.642, 2021).

2.2. La microbiota, un ecosistema en estudio

Los rangos de ingesta de macronutrientes que proporcionarían niveles adecuados de nutrientes esenciales y al mismo tiempo reducirían el riesgo de enfermedades crónicas, fueron establecidos por el antiguo Instituto de Medicina de las Academias Nacionales de América del Norte. Los ratios de distribución aceptable como porcentajes de la energía total son: para proteínas 10–35%, para HCO 45–65% y para grasas 20–35%. Pero uno de los índices que no se consideró cuando se establecieron estas recomendaciones, fue el potencial de ingesta de macronutrientes para modular la MI y, por lo tanto, impactar en la salud humana (Dahl et al., 2020).

El cuerpo humano está poblado por cientos de microorganismos en toda su superficie y en las cavidades conectadas con el exterior. Los colonizadores microbianos del intestino son parte funcional y no prescindible del organismo humano: aportan genes (microbioma) y funciones adicionales a los recursos de nuestra especie y participan en múltiples procesos fisiológicos (desarrollo somático, nutrición, inmunidad, etc.). Algunas ENT de la sociedad desarrollada (atopias, síndrome metabólico, enfermedades inflamatorias, cáncer y algunos trastornos de la conducta) se asocian a disbiosis: pérdida de riqueza de especies en la MI y desviación del entorno microbiano ancestral. Los cambios en la transmisión vertical del microbioma, el uso de antisépticos y antibióticos, y los hábitos dietéticos de la sociedad industrializada parecen estar en el origen de la disbiosis. Generar y mantener diversidad de la MI es un nuevo objetivo clínico para la promoción de salud y prevención de enfermedades (Álvarez et al., 2022).

La composición, la diversidad y el contenido genético de la microbiota en los *pueblos industrializados* varían sustancialmente de los de las poblaciones rurales más tradicionales y probablemente de la de los ancestros, lo que indica que aspectos del estilo de vida están cambiando los microorganismos residentes (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019). La tecnología y la medicina han limitado la exposición a los microbios patógenos, han permitido alimentar a grandes poblaciones a bajo costo y

han reducido los incidentes médicos agudos. Pero también, existe una conexión entre esta *microbiota industrializada* (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019) y el aumento en la prevalencia de enfermedades crónicas impulsadas por la inflamación. Estas enfermedades se propagan junto con los factores del estilo de vida que alteran la MI.

Se podría considerar que la microbiota industrializada está mejor adaptada al estilo de vida de un huésped industrializado al albergar más resistencia a los antibióticos y ser menos competente en la degradación de la fibra dietética. Sin embargo, es posible que dicha microbiota no esté optimizada para nuestra salud (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019). Las variaciones de la MI se consideran fisiológicas dentro y entre individuos sanos. Estas variaciones pueden tener un impacto en la aparición de enfermedades o, por el contrario, pueden ser beneficiosas. Se debe mantener un equilibrio adecuado entre el huésped y la microbiota para garantizar los efectos protectores, estructurales y metabólicos de las bacterias comensales, tanto a nivel sistémico como dentro del intestino. El *perfil único de microbiota* intestinal de un individuo es casi como una huella digital que comienza a desarrollarse la vida temprana (Ortiz-Alvarez et al., 2020).

Un microbioma intestinal sano y diverso se asocia con una mejor salud general, incluida una mejor función inmune y digestión. Por eso, como se mencionó anteriormente, las alteraciones en la MI observadas en poblaciones industrializadas pueden estar contribuyendo a la desregulación del sistema inmune resultando en inflamación crónica por el consumo de ultraprocesados. Se ha demostrado que cambios recientes en la práctica, incluido el parto por cesárea, las fórmulas infantiles, la administración de antibióticos y el consumo de alimentos ultraprocesados influyen en la MI de los seres humanos (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019).

La relación de estilos de vida y la MI confirmaron que los aportes de nutrientes y compuestos bioactivos afectan la composición y funcionamiento de esa microbiota. Esta tiene implicaciones en el estrés que impacta en la selección de alimentos y hábitos alimentarios. Así tenemos que los probióticos y prebióticos favorecen el desarrollo de bacterias beneficiosas en la preservación de la salud del cuerpo humano, y otras como el alcohol, tabaco, drogas la podrían perturbar (Caballero Torres et al., 2023).

La literatura científica brinda información y datos sobre la MI que respaldan la importancia de proteger este ecosistema para prevenir enfermedades y aumentar la esperanza de vida con buena calidad. La alimentación contribuye a su composición y

funcionamiento con el aporte de sustancias químicas consideradas prebióticos y microorganismos que se califican como probióticos, además de fitoquímicos (Caballero Torres et al., 2023).

2.3. Incidencia del consumo de hidratos de carbono en la microbiota intestinal

Los HCO representan la fracción mayoritaria en los alimentos de consumo cotidiano, por lo que son la principal fuente de energía para los humanos. El tipo y la cantidad que se consumen en la dieta están estrechamente relacionados con un estado saludable. Una ingesta frecuente de HCO rápidamente digeribles está asociada con la aparición de problemas de salud como el sobrepeso y la obesidad, las cuales a su vez, son un factor de riesgo para padecer síndrome metabólico, EC y DBT, principalmente (González-Aguilar et al., 2014).

Se ha observado que la ingesta alta de proteínas e HCO simples, la ingesta baja de fibra y la privación de algunos alimentos, pueden afectar negativamente a la MI y, a su vez, al rendimiento. La ingesta de fibra dietética adecuada, una variedad de fuentes de proteínas y grasas insaturadas, especialmente los ácidos grasos omega-3 (ω -3), además del consumo de prebióticos, probióticos y simbióticos, han mostrado resultados prometedores en la optimización de la salud y el rendimiento de los atletas (Hughes et al., 2019; Hughes & Holscher, 2021).

Existen indicaciones de que el tipo de deporte practicado puede influir en la composición de la MI, y que los deportes de resistencia parecen tener un efecto particularmente beneficioso en la misma (Mohr et al., 2020).

2.4. Microbiota intestinal y deporte

El objetivo del deportista es optimizar su rendimiento. Con este fin, la nutrición se ha utilizado para mejorar la salud del cerebro, los huesos, los músculos y el sistema cardiovascular de los atletas. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren que el intestino y su microbiota residente también pueden desempeñar un papel en la salud y el rendimiento de los atletas. Por lo tanto, los atletas y profesionales de la salud involucrados deben considerar las estrategias dietéticas en el contexto de sus efectos potenciales sobre la MI, incluido el impacto de las estrategias dietéticas centradas en

el deporte (por ejemplo, suplementos proteicos, carga de HCO) en la MI, así como los efectos de las estrategias dietéticas centradas en el deporte (por ejemplo, probióticos, prebióticos) sobre el rendimiento (Hughes & Holscher, 2021).

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Deportes de resistencia

Los deportes de resistencia, también conocidos como deportes de fondo, son aquellos en los que el rendimiento se basa en la capacidad del atleta para mantener una intensidad moderada-alta durante un período prolongado de tiempo. Estos deportes requieren una combinación de eficiencia cardiovascular, capacidad muscular y manejo energético, y se caracterizan por un esfuerzo aeróbico sostenido. Algunos ejemplos de deportes de resistencia incluyen el ciclismo, el triatlón, la natación de larga distancia, el esquí de fondo y las carreras a pie.

Los deportes de resistencia exigen un elevado consumo energético, siendo los HCO y las grasas los principales sustratos utilizados durante el ejercicio prolongado. La capacidad del organismo para movilizar, utilizar eficientemente y reponer estos sustratos es determinante para el rendimiento. Diversos estudios coinciden en que la depleción de glucógeno muscular sigue siendo uno de los principales factores limitantes del rendimiento en pruebas de larga duración (Cermak & van Loon, 2013; Stellingwerff & Cox, 2014).

Dentro de los deportes de resistencia, las carreras de larga distancia destacan como una de las disciplinas más desafiantes tanto a nivel físico como mental. Las carreras de pie incluyen eventos que van desde los 10 kilómetros (km) hasta los maratones (42,195 km) y ultramaratones (más de 42 km), los cuales son populares en todo el mundo debido a su accesibilidad y la creciente cultura de dicho deporte.

3.2. Resistencia y fisiología

Durante las carreras de larga distancia, el cuerpo depende principalmente del sistema energético aeróbico para producir energía. En las fases iniciales de la carrera, el glucógeno almacenado en los músculos es el principal combustible, pero a medida que las reservas se agotan, el cuerpo comienza a depender de la oxidación de ácidos

grasos (AG). La eficiencia en el uso de las reservas de glucógeno es crucial para retrasar la aparición de la fatiga y mantener un ritmo competitivo durante todo el entrenamiento y/o competencia.

Además del gasto energético, las carreras de larga distancia también imponen un desafío significativo en términos de termorregulación, hidratación y equilibrio electrolítico, debido a las pérdidas de líquido y sales minerales por la sudoración. La incapacidad para manejar adecuadamente estos factores puede llevar a una disminución del rendimiento o incluso a condiciones médicas graves como la hiponatremia o el golpe de calor (Cheuvront et al., 2010).

3.3. Resistencia y combustible energético

Los deportes de resistencia, como el maratón y el triatlón, requieren una planificación nutricional meticulosa para optimizar el rendimiento y la recuperación. Una ingesta adecuada de energía es fundamental, ya que permite el funcionamiento óptimo del cuerpo y determina la capacidad de ingesta de macronutrientes y micronutrientes. Los factores que aumentan las necesidades de energía incluyen la exposición al frío o al calor, el estrés, la altitud y el aumento de la masa magra. (GSSI, 2023).

En lo que respecta a la actividad física y el combustible, las grasas, las proteínas y los HCO se utilizan como fuentes de energía en un momento dado. Pero, la intensidad, la duración, el tipo de ejercicio y la disponibilidad de la fuente de combustible determinan el uso principal de uno sobre los otros. En ejercicios de resistencia de baja intensidad, como caminar, la fuente principal de combustible puede ser la grasa, que proporciona más del 50% de los requerimientos energéticos. Con una menor disponibilidad de HCO, el cuerpo cambiará al uso de grasas, seguido por las proteínas como fuente de energía. Para los maratonistas que corren a un ritmo estándar que requiere un consumo de oxígeno del 80–90% (VO_2 máx.), los HCO son la fuente principal de combustible y pueden proporcionar hasta el 90% de la energía gastada. Los estudios han demostrado que la carga de HCO se correlaciona con tiempos de carrera más rápidos en eventos de ultramaratón. Por lo tanto, es esencial maximizar la disponibilidad de HCO para los músculos activos y reforzar la necesidad de una ingesta adecuada de energía para el rendimiento. El aumento gradual del consumo de HCO asegura que los depósitos de glucógeno muscular se repongan y

maximicen. Además, esto ayuda a aumentar el almacenamiento de líquidos. Investigaciones recientes han profundizado en el papel del metabolismo energético y su optimización. Según Thomas, Erdman y Burke (2016), una adecuada disponibilidad de glucógeno muscular y hepático retrasa la aparición de la fatiga y permite mantener mayores intensidades durante períodos prolongados. Asimismo, el uso estratégico de HCO antes, durante y después del ejercicio ha demostrado mejorar el rendimiento y acelerar la recuperación.

En la misma línea, la capacidad oxidativa del músculo esquelético, junto con el estado nutricional previo y la composición corporal del atleta, son variables clave para la eficiencia en deportes de resistencia (Burke et al., 2019). También se reconoce que la flexibilidad metabólica (es decir, la capacidad del cuerpo para alternar entre grasas y HCO según la intensidad y duración del ejercicio) tiene un rol importante en la sostenibilidad del esfuerzo (Jeukendrup, 2017).

La demanda energética en carreras de larga distancia es extremadamente alta, lo que hace que la nutrición adecuada antes, durante y después de la carrera sea fundamental. Los corredores de larga distancia deben asegurarse de mantener un equilibrio adecuado de macronutrientes, con un enfoque en la ingesta de HCO para maximizar las reservas de glucógeno y mantener el rendimiento a lo largo del evento. Los ejercicios de resistencia tienen tres fases: pre, durante y post-entrenamiento. Los requisitos nutricionales que impulsan estas fases varían según la intensidad, el tipo de entrenamiento, la composición corporal del individuo, el entrenamiento, las condiciones climáticas, entre otras condiciones (Ravindra et al., 2022).

- Antes de la carrera: La carga de HCO en los días previos es una estrategia bien documentada para maximizar las reservas de glucógeno y retrasar la aparición de la fatiga (Burke et al., 2011). Generalmente, la fase previa al entrenamiento y/o carrera requiere la síntesis de glucógeno y la descomposición de glucógeno adicional (Ravindra et al., 2022)

- Durante la carrera: La ingesta de HCO simples durante el evento ayuda a reponer la glucosa en sangre y mantener el suministro energético, lo que permite al atleta continuar a una intensidad alta por más tiempo (Jeukendrup, 2014). La fase de entrenamiento y/o competencia requiere una rápida absorción de glucosa exógena, liberación de insulina para transportar la glucosa a las células musculares, reponer la pérdida de electrolitos, promover la retención de líquidos, etc. (Ravindra et al., 2022).

- Después de la carrera: El enfoque nutricional debe estar en la reposición de glucógeno y la reparación muscular, lo que implica la ingesta de HCO y proteínas en una relación adecuada (Ivy, 2004). La fase post-entrenamiento / post-competencia requiere una rápida absorción de aminoácidos, síntesis de proteínas musculares y reparación de fibras musculares y tendones dañados, mejorar la inflamación, el estrés oxidativo, etc. (Ravindra et al., 2022).

3.4. Resistencia e hidratos de carbono

Dado las diferencias en el momento de entrenamiento/competencia, se recomiendan fuentes nutricionales que puedan ayudar con estos requerimientos metabólicos (Ravindra et al., 2022). Pero así todo, siendo los HCO la fuente principal de energía para las carreras de larga distancia, es en este contexto en que cobra importancia la recarga de glucógeno y el uso de glucosa exógena para sostener el rendimiento en entrenamientos y/o competencias.

Los HCO son esenciales en el metabolismo energético, especialmente a intensidades que superan el 70% del VO_2 máx. A partir de dicha intensidad, su contribución al aporte energético cobra mayor importancia, siendo prácticamente la única fuente energética en intensidades superiores al 95% del VO_2 máx. Las reservas corporales de HCO aportan una importante fuente de combustible para el cerebro y para los músculos durante el ejercicio y son modificadas por el ejercicio y la ingesta de alimentos. Las recomendaciones para la ingesta de HCO suelen oscilar entre 3-10 g/kg de peso corporal/día (y hasta 12 g/kg de peso corporal/día para actividades extremas y prolongadas), en función de las demandas de combustibles del entrenamiento o de la competencia, del equilibrio entre el rendimiento y los objetivos de adaptación al entrenamiento, de las necesidades totales de energía y de las metas de composición corporal. Las metas deben ser individualizadas para el atleta y su evento, y también deben ser periodizadas a lo largo de la semana y de los ciclos de entrenamiento del calendario estacional de acuerdo a los cambios en el volumen de ejercicio y a la importancia de la alta disponibilidad de HCO para diferentes sesiones de ejercicio (Wallis, G., & Podlogar, T., 2023).

Figura 1. Estrategias nutricionales y no nutricionales para optimizar el potencial de resistencia en atletas

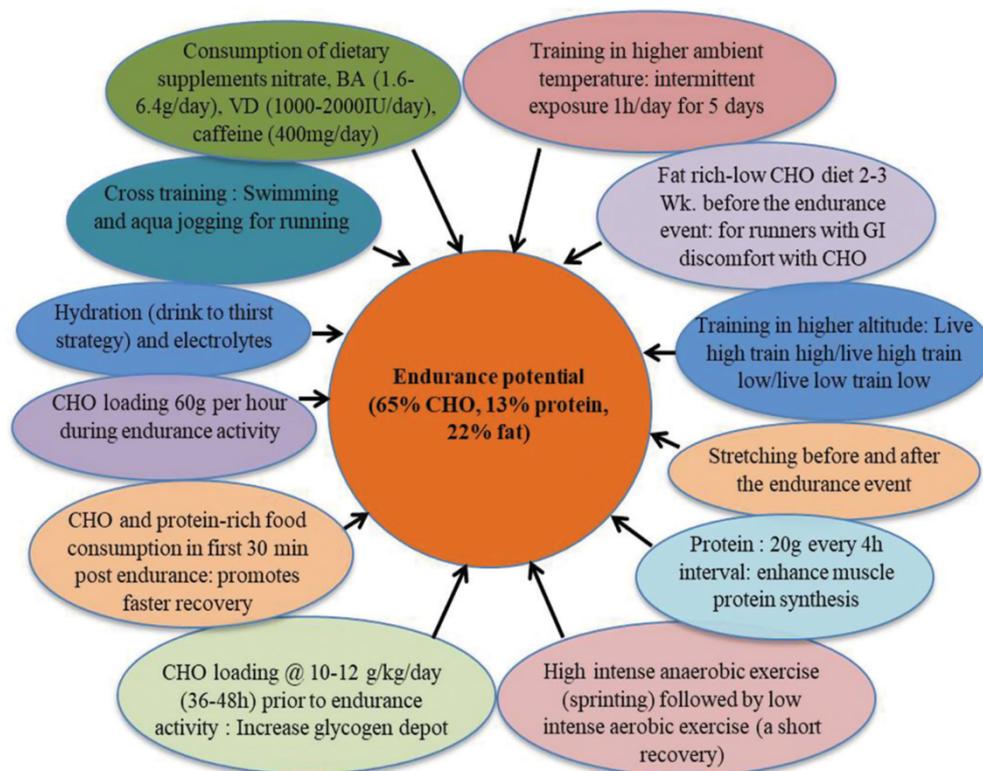


Figure 1. Schematic representation of both nutritional and few non-nutritional strategies to enhance the endurance potential. The combination nutritional interventions (CHO loading, CHO-protein rich food, consumption of dietary supplements, training in low CHO nutrition, hydration and electrolytes) as well as non-nutritional strategies (training in high altitudes, high intensity training, stretching, training in higher altitudes, training in higher temperatures, cross-training etc.) will aid in maximising the endurance potential in athletes.

Nota: Adaptado de Ravindra, P. V., Janhavi, P., Divyashree, S., & Muthukumar, S. P. (2022). *Nutritional interventions for improving the endurance performance in athletes*. Archives of Physiology and Biochemistry, 128(4), 851–858.

En la **Figura 1** se muestra la representación esquemática de estrategias nutricionales y no nutricionales para maximizar el potencial de resistencia en atletas. Aquí se plantea que la combinación de intervenciones nutricionales (carga de HCO, alimentos ricos en proteínas y HCO, consumo de suplementos dietéticos, hidratación y electrolitos) así como las estrategias no nutricionales (entrenamiento en altitudes elevadas, entrenamiento de alta intensidad, entrenamiento en temperaturas altas, estiramientos, entrenamiento cruzado, etc.) van a contribuir a maximizar el potencial de resistencia. Este potencial se propone con el siguiente consumo de macronutrientes: 65% HCO, 13% proteínas, 22% grasas.

Las intervenciones nutricionales que se mencionan son:

- Carga de HCO: 60 g por hora durante la actividad de resistencia.

- Carga de HCO: 10-12 g/kg/día (36-48 horas antes de la actividad de resistencia) para aumentar las reservas de glucógeno.
- Consumo de alimentos ricos en HCO y proteínas: dentro de los primeros 30 minutos posteriores a la actividad de resistencia para promover una recuperación más rápida.
- Proteína: 20 g cada 4 horas para mejorar la síntesis de proteínas musculares.
- Consumo de suplementos dietéticos: nitrato, BA (1.6-6.4 g/día), VD (1000-2000 UI/día), cafeína (400 mg/día).
- Hidratación: estrategia "beber según la sed" y uso de electrolitos.
- Dieta rica en grasas y baja en HCO: 2-3 semanas antes del evento de resistencia para corredores con molestias gastrointestinales relacionadas con los HCO.

Por otro lado, las estrategias nutricionales que se consideran para mejorar el potencial de resistencia son:

- Entrenamiento cruzado: natación y caminata acuática como complemento al entrenamiento de carrera.
- Entrenamiento en temperaturas más altas: exposición intermitente durante 1 hora/día por 5 días.
- Entrenamiento en altitud elevada: vivir en altitud y entrenar en altitud baja (o alta), dependiendo de la estrategia.
- Estiramientos: antes y después del evento de resistencia.
- Ejercicio anaeróbico de alta intensidad: (pasadas rápidas) seguido de ejercicio aeróbico de baja intensidad (para una recuperación corta).

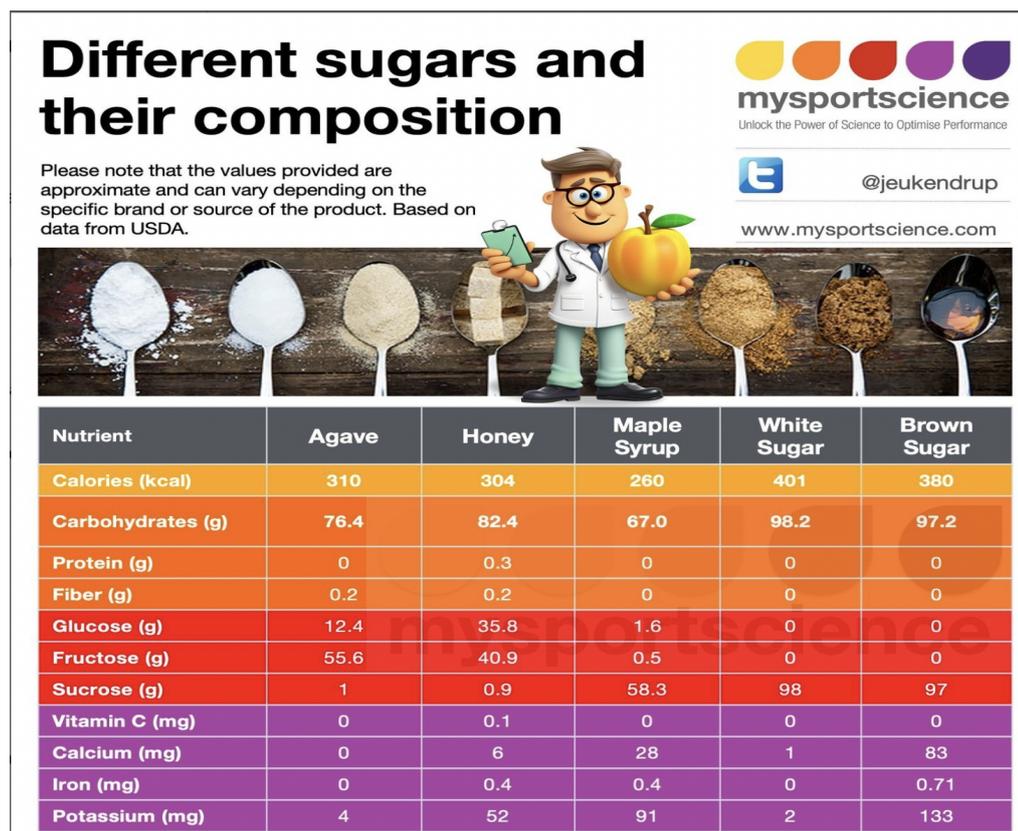
3.5. Diferencia entre hidratos de carbono simples y complejos

Los HCO se dividen en simples y complejos. Los simples, como la glucosa, fructosa y sacarosa, se digieren rápidamente y provocan un aumento rápido en los niveles de glucosa en sangre. En contraste, los HCO complejos, como el almidón, se descomponen más lentamente, liberando energía de manera sostenida (Jeukendrup, 2017).

Durante las competencias de resistencia, los HCO simples continúan siendo la fuente energética más utilizada debido a su rápida absorción y disponibilidad inmediata para el metabolismo energético. Su consumo durante el ejercicio permite

mantener niveles estables de glucosa en sangre, retrasar la fatiga y sostener el rendimiento en esfuerzos prolongados como maratones o ultramaratones (Thomas et al., 2016). Estudios recientes destacan la importancia de combinar diferentes tipos de azúcares simples, como glucosa y fructosa, para maximizar la tasa de absorción intestinal y oxidación de carbohidratos exógenos (Burke et al., 2018). Además, entrenar al sistema digestivo para tolerar mayores cantidades de HCO ha demostrado mejorar el rendimiento sin provocar síntomas gastrointestinales adversos (Jeukendrup, 2017). Estas estrategias nutricionales se consideran esenciales para atletas de resistencia, ya que permiten preservar el glucógeno muscular y mantener una adecuada disponibilidad energética durante toda la competencia. Los corredores de larga distancia, como ya se mencionó anteriormente, utilizan estas fuentes de energía para mantener la intensidad y evitar la fatiga prematura.

Figura 2. Composición nutricional de diferentes tipos de azúcares



Nota. Adaptado de Jeukendrup, A. (2018). *Different sugars and their composition*. Recuperado de www.mysportscience.com.

Como se muestra en la **Figura 2**, tampoco son todos los HCO simples lo mismo. Existen algunos con más fibra que otros, potasio e incluso el aporte de HCO

por porción. Frente a estas diferencias, se pueden elegir unas fuentes sobre otras a la hora de la planificación en el plan de alimentación, tanto como para pre como durante entrenamiento/competencia. A continuación se muestra una tabla de la composición nutricional de diferentes tipos de azúcares:

Tabla 1. Composición nutricional de diferentes tipos de azúcares

Nutriente	Agave	Miel	Jarabe de arce	Azúcar blanco	Azúcar moreno
Calorías (kcal)	310	304	260	401	380
Carbohidratos (g)	76.4	82.4	67.0	98.2	97.2
Proteína (g)	0	0.3	0	0	0
Fibra (g)	0.2	0.2	0	0	0
Glucosa (g)	12.4	12.4	1.6	98	97
Fructosa (g)	55.6	55.6	0.5	0	0
Sacarosa (g)	1	1	58.3	98	97
Vitamina C (mg)	0.1	0.1	0	0	0
Calcio (mg)	0	0	28	1	83
Hierro (mg)	0	0	0.4	0	0.71
Potasio (mg)	4	4	91	2	133

Nota. Adaptado de Jeukendrup, A. (2018). *Different sugars and their composition*. Recuperado de www.mysportscience.com

Los valores proporcionados son aproximados y pueden variar según la marca específica o la fuente del producto.

3.6. Estrategias nutricionales para el rendimiento

Las directrices generales de nutrición deportiva recomiendan que la alimentación de un corredor de maratón y/o larga distancia proporcione suficiente cantidad de HCO para cubrir las necesidades energéticas y la reposición entre las sesiones de entrenamiento. Las cantidades sugeridas están en el rango de 7-10

g/kg/día de acuerdo con el volumen, la intensidad y el período del entrenamiento en el que se encuentre (Onzari, 2016).

Los corredores de larga distancia deben prestar especial atención a la periodización de la ingesta de HCO, asegurando una adecuada disponibilidad de glucógeno muscular antes, durante y después de las sesiones de entrenamiento y competición. La ingesta de HCO de alto índice glucémico (ÍG) durante el ejercicio puede ayudar a mantener los niveles de glucosa en sangre y retrasar la fatiga. Además, la combinación de diferentes tipos de HCO, como glucosa y fructosa, puede mejorar la oxidación de los mismos y el rendimiento en eventos de resistencia prolongados (Wallis, G., & Podlogar, T., 2023).

La recarga de glucógeno es crucial para los atletas de resistencia, ya que el agotamiento de las reservas de glucógeno muscular está asociado con la fatiga y la disminución del rendimiento. Para optimizar la síntesis de glucógeno después de un ejercicio exhaustivo, se recomienda a los atletas consumir HCO de índice glucémico moderado a alto tan pronto como sea posible después del ejercicio, a una tasa de 1.0 a 1.2 g·kg⁻¹ de masa corporal por hora durante las primeras 4 horas, después de las cuales se recomienda una dieta normal que refleje las necesidades diarias de combustible. Si se desea la súper compensación, se recomienda a los atletas consumir HCO en una cantidad de 10 a 12 g·kg⁻¹ de masa corporal por día durante 36 a 48 horas antes de la competencia. Tales prácticas pueden ser favorables para optimizar la disponibilidad de HCO para eventos prolongados sostenidos o intermitentes de alta intensidad que duran más de 90 minutos (Wallis, G., & Podlogar, T., 2023).

Estos atletas emplean una variedad de estrategias nutricionales basadas en el consumo de HCO que cuentan con evidencia científica para mejorar el rendimiento y optimizar la recarga de glucógeno antes, durante y después del ejercicio. Estas estrategias están diseñadas para mantener altos niveles de glucógeno muscular, estabilizar los niveles de glucosa en sangre y facilitar la recuperación post-ejercicio. A continuación, se describen algunas de las estrategias más comunes.

3.6.1. Carga de hidratos de carbono antes de la competencia

La carga de HCO es una estrategia ampliamente utilizada por los corredores de larga distancia para maximizar las reservas de glucógeno muscular en los días previos a una competencia. Esta técnica se basa en aumentar la ingesta de HCO a

aproximadamente 8-12 gramos por kilogramo de peso corporal durante 1-3 días antes de la carrera, mientras se reduce el volumen de entrenamiento. Antes de la competencia, la carga de HCO, una estrategia que consiste en aumentar la ingesta de HCO los días previos a la carrera, ayuda a maximizar las reservas de glucógeno muscular (Burke et al., 2011). La sobrecarga de glucógeno permite que los atletas tengan más combustible disponible para las etapas avanzadas de la carrera, cuando la fatiga comienza a afectar el rendimiento (Burke et al., 2011). La carga de HCO puede mejorar el rendimiento en eventos de más de 90 minutos, ya que retarda la aparición de la fatiga al proporcionar una mayor cantidad de glucógeno almacenado (Jeukendrup, 2017). La sobrecarga de glucógeno mejora el rendimiento de los deportistas que compiten por más de 90 - 100 minutos, favoreciendo al deportista mantener el ritmo durante toda la carrera. Si el atleta está bien entrenado para supercompensar sus reservas de glucógeno, será suficiente con reducir el volumen de entrenamiento y aumentar la ingesta de HCO (7-10 g/kg/día) las últimas 36-48 horas previstas al evento (Onzari, 2016).

3.6.2. *Ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio*

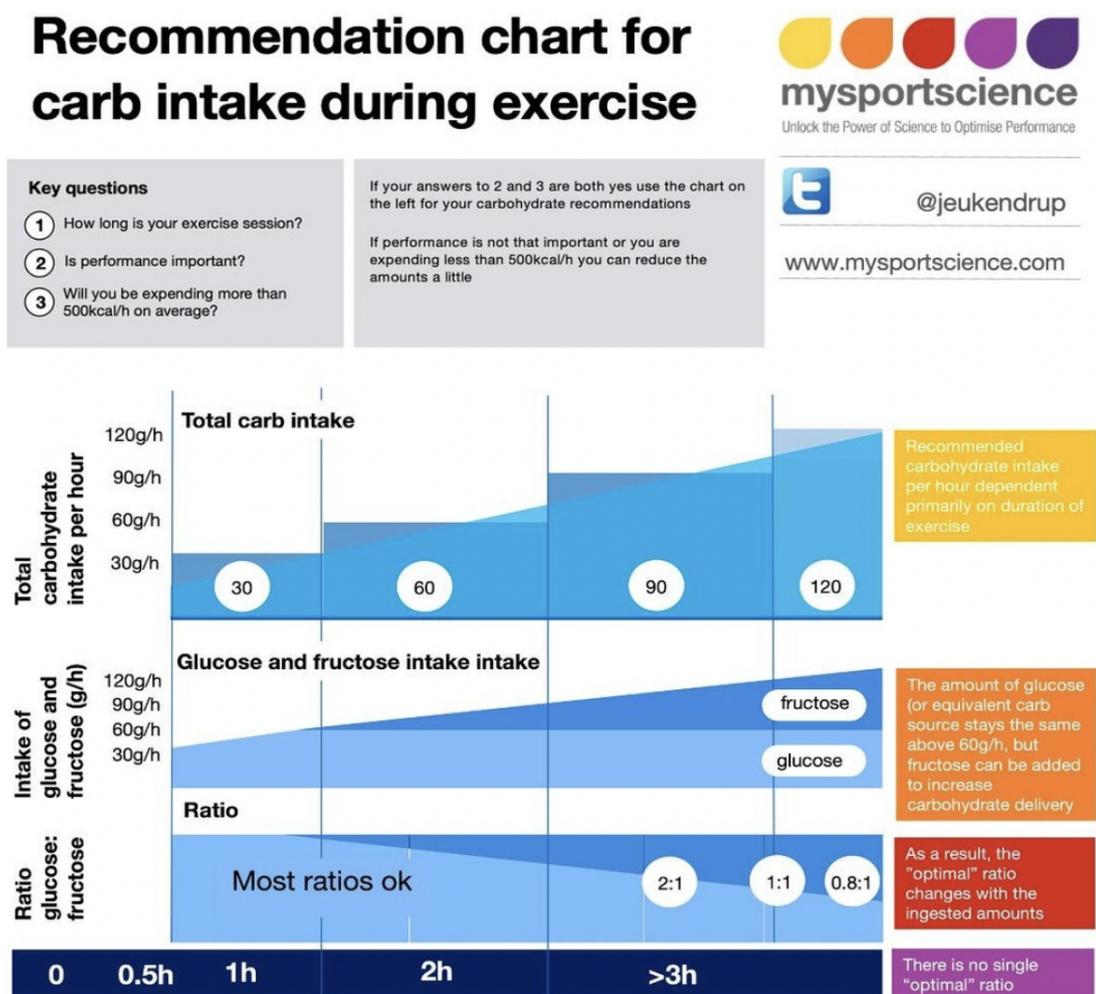
Durante la carrera, los corredores de larga distancia consumen HCO para mantener un suministro constante de glucosa en sangre y retrasar la depleción de glucógeno muscular. La ingesta recomendada de HCO durante el ejercicio prolongado (más de 2 horas) oscila entre 30 y 60 g por hora, con algunos estudios sugiriendo que la combinación de glucosa y fructosa puede aumentar la tasa de oxidación de HCO hasta 90 g por hora sin causar problemas gastrointestinales (Jeukendrup, 2014).

Como se puede ver en la **Figura 3**, existen recomendaciones para la ingesta de HCO en función de la duración del ejercicio. Hay preguntas claves para entender las necesidades de HCO:

1. ¿Cuánto dura la sesión de entrenamiento?
2. ¿Importa el rendimiento?
3. ¿Se gastarán más de 500 kcal/h en promedio?

El autor determina que si las respuestas 2 y 3 son afirmativas, el gráfico de la izquierda es el necesario para determinar las recomendaciones de HCO. Si el rendimiento no es tan importante o se gastarán menos de 500 kcal/h, se pueden reducir ligeramente las cantidades recomendadas.

Figura 3: Recomendaciones para la ingesta de hidratos de carbono durante el ejercicio



Nota. Adaptado de Jeukendrup, A. (2015). Recommendation chart for carb intake during exercise. Recuperado de www.mysportscience.com

Tabla 2. Recomendación de ingesta total de hidratos de carbono por hora (g/h)

Recomendación de ingesta total de carbohidratos por hora (g/h)	
30 g/h	Recomendado para sesiones más cortas
60 g/h	Beneficio intermedio para sesiones de duración moderada
90 g/h	Óptimo para actividades más largas
120 g/h	Para esfuerzo prolongados y de alta intensidad

Nota. Adaptado de Jeukendrup, A. (2015). Recommendation chart for carb intake during exercise. Recuperado de www.mysportscience.com

En relación a la ingesta de glucosa y fructosa por hora (g/h), el requerimiento de glucosa se mantiene constante a medida que aumenta la cantidad total de HCO y el de fructosa se agrega para incrementar la entrega de HCO cuando se supera una ingesta de 60 g/h. Asker Jeukendrup (2015), en la gráfica también describe la relación glucosa:fructosa, aclarando que no existe una única relación óptima, si no que varía de las cantidades ingeridas.

Tabla 3. Relación glucosa:fructosa

Relación glucosa:fructosa	
2:1	Adecuada para ingestas más bajas de carbohidratos
1:1	Útil cuando las cantidades ingeridas son moderadas
0:8:1	Recomendado para las mayores ingestas de carbohidratos (>90 g/h)

Nota. Adaptado de Jeukendrup, A. (2015). *Recommendation chart for carb intake during exercise.*

Recuperado de www.mysportscience.com

Tabla 4. Duración del ejercicio

Duración del ejercicio	
0.5 horas	Ingesta mínima de hidratos de carbono recomendada
1-2 horas	Incremento gradual en la ingesta
>3 horas	Se recomienda una mayor ingesta con una porción adaptada de glucosa y fructosa

Nota. Adaptado de Jeukendrup, A. (2015). *Recommendation chart for carb intake during exercise.*

Recuperado de www.mysportscience.com

3.6.3. Recarga de hidratos de carbono post-ejercicio

Luego del ejercicio prolongado, particularmente en disciplinas de resistencia como las carreras de larga distancia, la recuperación nutricional inmediata es crucial para restaurar las reservas de glucógeno muscular, reparar el tejido muscular dañado y rehidratar al atleta. La evidencia actual respalda la ingesta de HCO simples combinados con proteínas como una estrategia eficaz para acelerar la síntesis de glucógeno y optimizar la recuperación muscular (Kerksick et al., 2017). La combinación de ambos nutrientes mejora la respuesta insulínica y favorece la captación de glucosa por el músculo, especialmente cuando se consume durante la

primera hora post-ejercicio, momento en el cual las células musculares presentan una mayor sensibilidad a la insulina (Thomas et al., 2016). Las recomendaciones más recientes sugieren una ingesta de 1.0 a 1.2 g de carbohidratos por kg de peso corporal por hora durante las primeras 4 a 6 horas, combinada con al menos 0.3 g de proteína por kg de peso corporal, para maximizar la reposición de glucógeno y promover la síntesis de proteínas musculares (Areta & Phillips, 2021). En la práctica, los atletas consumen bebidas deportivas, frutas, batidos de recuperación o barras energéticas, en proporciones aproximadas de 3:1 o 4:1 (carbohidratos:proteínas), según las necesidades individuales y la duración de la actividad.

3.7. Fuentes de hidratos de carbono simples antes del entrenamiento/competencia

Los corredores de larga distancia utilizan varias fuentes de HCO simples tanto antes como durante los entrenamientos y competencias para optimizar el rendimiento y evitar la fatiga. Como ya se mencionó, el objetivo de consumir HCO simples antes de un entrenamiento o competencia es proporcionar al cuerpo una fuente rápida de glucosa para mantener los niveles de energía y comenzar la actividad con reservas de glucógeno completas. Se recomienda el consumo de HCO simples entre 30 y 60 minutos antes del ejercicio, ya que su rápida digestión minimiza el riesgo de malestar gastrointestinal (Jeukendrup, 2011). A continuación se detallan las fuentes más comunes utilizadas por los corredores.

3.7.1. Frutas

Las frutas son una fuente común de HCO simples antes del ejercicio debido a su contenido en azúcares como fructosa y glucosa, junto con su fácil digestión. La banana, en particular, es popular por su contenido en glucosa y potasio, que ayuda a regular los niveles de electrolitos (McGhie et al., 2018). Un estudio destaca que las bananas y los dátiles proporcionan una excelente fuente de energía rápida y fácil de consumir antes de la actividad física (Beals et al., 2017). Los ejemplos más utilizados son: banana, dátiles, naranja, manzana.

3.7.2. Jugos de frutas

Los jugos de frutas, como el jugo de naranja o de manzana, son una fuente líquida de HCO simples que proporciona fructosa y glucosa. Además, su alto contenido de agua contribuye a la hidratación, un factor clave antes de la competencia (Jeukendrup, 2014). Los jugos de frutas pueden ser eficaces para proporcionar un suministro rápido de energía antes del ejercicio, siempre y cuando se consuman en cantidades moderadas para evitar problemas gastrointestinales (Cox et al., 2010).

3.7.3. Barras energéticas

Algunas barras energéticas altas en HCO simples están diseñadas específicamente para consumirse antes del ejercicio y contienen principalmente azúcares como glucosa y sacarosa, que se absorben rápidamente. Estas barras son prácticas y proporcionan una opción conveniente para aquellos que buscan una fuente rápida de energía pre-entrenamiento y/o pre-competencia (Burke et al., 2011).

3.8. Fuentes de hidratos de carbono simples durante el entrenamiento/competencia

Durante la competencia o entrenamiento prolongado, el objetivo es mantener estables los niveles de glucosa en sangre y evitar la depleción de glucógeno, un estado que puede causar fatiga prematura. Los HCO simples son esenciales en esta fase debido a su rápida digestión y absorción. Se recomienda una ingesta de 30 a 60 g de HCO simples por hora durante el ejercicio, que puede aumentar hasta 90 g/h si se combinan diferentes tipos de azúcares, como glucosa y fructosa (Jeukendrup, 2011).

3.8.1. Frutas secas

Las frutas secas, como los dátiles o las pasas, son una fuente natural de HCO simples y se utilizan con frecuencia durante el ejercicio por su fácil digestión y su alta concentración de azúcares. Además, son ligeras y fáciles de transportar, lo que las convierte en una opción ideal para carreras de larga distancia (Beals et al., 2017). Se indicó también que los dátiles y otras frutas secas pueden ser una fuente adecuada de HCO simples durante el ejercicio, comparable a los geles energéticos (Beals et al., 2017).

3.8.2. *Bebidas, gomitas y geles energéticos*

Las bebidas energéticas y los geles, son ultraprocesados diseñados específicamente para proporcionar hidratos de carbono simples de forma rápida y eficaz durante el ejercicio prolongado y así optimizar el rendimiento de deportes de resistencia. Las gomitas energéticas son similares a los geles, pero en formato sólido. Están formuladas con HCO simples como glucosa y fructosa, y son una opción fácil de consumir para mantener el nivel de glucosa en sangre durante la competencia. Estas gomitas suelen contener entre 20 y 30 g de HCO por porción. Se sugiere que las gomitas energéticas son igualmente efectivas que los geles energéticos en la mejora del rendimiento durante el ejercicio prolongado (Pfeiffer et al., 2010).

3.9. **Bebidas y geles energéticos**

Como se explicó anteriormente, estos productos son formulados para evitar la fatiga inducida por la depleción de glucógeno y para mantener un equilibrio adecuado de electrolitos, esenciales para prevenir la deshidratación (Pfeiffer et al., 2012).

La composición de estos productos varía ligeramente dependiendo de la marca y la fórmula, pero la mayoría de ellos comparten características nutricionales comunes que los hacen ideales para el ejercicio prolongado. Para ser contemplados como estrategias nutricionales para los corredores de larga distancia tienen que incluir HCO, electrolitos y agua. Además existen agregados opcionales como aminoácidos, proteínas, cafeína y antioxidantes.

El componente principal de las bebidas y geles energéticos es el HCO. Normalmente, se incluyen HCO simples como glucosa, fructosa, sacarosa o maltodextrina debido a su rápida digestión y absorción, lo que permite un aporte energético inmediato. Podemos encontrar:

- **Bebidas energéticas:** entre 6-8% de HCO (es decir, entre 60-80 g de HCO por litro)
- **Geles energéticos:** están diseñados para ser transportados fácilmente y proporcionan entre 20-25 g de HCO por porción de 30-40 ml (Pfeiffer et al., 2012).

Los estudios han demostrado que la combinación de diferentes tipos de azúcares, como glucosa y fructosa, mejora la oxidación de HCO y la absorción durante el ejercicio, proporcionando más energía y disminuyendo el riesgo de malestar gastrointestinal (Jeukendrup, 2010). Las proporciones más comunes en las bebidas y

geles energéticos son 2:1 de glucosa a fructosa. Se puede usar la maltodextrina, un HCO complejo de rápida absorción, comúnmente utilizado para proporcionar energía sin aumentar la osmolaridad de las bebida; y/o la fructosa y glucosa, ya que su combinación mejora la capacidad del cuerpo para absorber HCO en tasas superiores a 60 g/h, llegando hasta 90 g/h (Jeukendrup, 2010). Se encontró que el consumo de geles energéticos que contienen una combinación de glucosa y fructosa puede mejorar la oxidación de HCO y el rendimiento en deportes de resistencia (Pfeiffer et al., 2012).

En estos productos también encontramos electrolitos como sodio, potasio, calcio y/o magnesio. Estos son fundamentales para mantener el equilibrio de fluidos, la función muscular y la transmisión de impulsos nerviosos durante el ejercicio de resistencia. La sudoración excesiva durante el ejercicio prolongado puede causar desequilibrios electrolíticos, lo que aumenta el riesgo de calambres musculares y fatiga, por lo tanto en las bebidas y geles se pueden incluir:

- Sodio (Na), siendo el electrolito más importante en estas formulaciones, ya que ayuda a retener líquidos y a mantener el equilibrio de los electrolitos extracelulares. En el mercado, las bebidas suelen contener entre 300-600 mg de sodio por litro.
- Potasio (K), ya que ayuda a mantener el equilibrio de los fluidos intracelulares y es importante para la contracción muscular. La concentración promedio de potasio en las bebidas energéticas es de 150-300 mg por litro (Rehrer et al., 2013).

El contenido de agua es esencial en las bebidas energéticas para mantener la hidratación, ya que el déficit de agua durante el ejercicio prolongado puede afectar significativamente el rendimiento. Las bebidas energéticas están diseñadas para proporcionar tanto energía como hidratación, con una osmolaridad adecuada para mejorar la absorción de líquidos sin causar malestar gastrointestinal.

Algunas fórmulas de bebidas energéticas y geles contienen pequeñas cantidades de aminoácidos como la leucina, isoleucina y valina (aminoácidos de cadena ramificada o BCAA), o pequeñas cantidades de proteínas (1-2 g por porción). La inclusión de BCAA (leucina, isoleucina y valina) en suplementos deportivos ha demostrado beneficios en la recuperación muscular y la disminución de la fatiga central. Estudios recientes muestran que su suplementación puede reducir el daño

muscular post-ejercicio y mejorar la percepción de esfuerzo en actividades prolongadas (Rahimi et al., 2017).

En muchas fórmulas, se incluye cafeína como ingrediente ergogénico, dado que se ha demostrado sigue siendo una de las ayudas ergogénicas más respaldadas por la evidencia. Se ha comprobado que mejora el rendimiento en deportes de resistencia al estimular el sistema nervioso central, reducir la percepción del esfuerzo y mejorar la movilización de ácidos grasos (Grgic et al., 2020). Dosis efectivas oscilan entre 3-6 mg/kg de peso corporal, administradas entre 30 y 60 minutos antes del ejercicio. Las dosis típicas varían entre 30-100 mg por porción de gel o bebida energética. Algunas bebidas y geles energéticos incluyen antioxidantes, como vitamina C o vitamina E, con el fin de combatir el estrés oxidativo inducido por el ejercicio prolongado. Sin embargo, la evidencia sobre la eficacia de estos suplementos es mixta.

El consumo de bebidas deportivas con HCO simples mejora significativamente el rendimiento en eventos de resistencia de más de 90 minutos (Cermak y van Loon, 2013). Estas bebidas no solo proporcionan HCO simples para energía inmediata, sino que también ayudan a mantener la hidratación y el equilibrio de electrolitos durante la carrera. Las bebidas deportivas son ideales para consumir en sesiones prolongadas de ejercicio (Jeukendrup, 2014). Otros estudios, respaldan la eficacia del uso de geles y bebidas deportivas con azúcares simples para mantener el rendimiento en eventos de más de dos horas de duración (Maughan et al., 2018). A continuación, en la **Tabla 5** se detalla la composición típica de estos productos utilizados por los corredores de largas distancias.

Tabla 5. Composición típica de las bebidas y geles energéticos comerciales (por porción)

Nutriente	Bebidas deportivas (500 ml)	Geles energéticos (por gel de 30-40 ml)
Hidratos de carbono	30-40 g	20-25 g
Sodio	150-300 mg	50-200 mg
Potasio	50-100 mg	10-50 mg
Magnesio	10-20 mg	5-10 mg
Calcio	10-20 mg	5-10 mg
Cafeína (opcional)	30-50 mg	50-100 mg
BCAA (opcional)	-	1-3 g
Antioxidantes (opcional)	Variable	Variable

Nota: Datos aproximados basados en la composición nutricional de productos comerciales (elaboración propia)

En resumen, los corredores de larga distancia utilizan una variedad de fuentes de HCO simples antes y durante el ejercicio para mejorar el rendimiento y mantener estables los niveles de glucosa en sangre. Estas fuentes incluyen frutas, jugos, barras energéticas, geles, bebidas deportivas, frutas secas y gomitas energéticas, entre otras todas, diseñadas para proporcionar energía rápida y fácilmente digerible. La elección de la fuente depende de la preferencia individual y las necesidades nutricionales específicas durante la competencia. Pero en líneas generales, se indicarán fuentes de HCO sin fibra, con alto contenido de azúcares simples y, muchas veces ultraprocesados. La importancia de entender las cantidades de HCO que son óptimas para el corredor de resistencia en su plan de alimentación, amerita indagar también en los efectos que los mismos tienen en otras áreas de la salud del corredor y/o si

tienen efectos negativos o a considerar cuando son consumidos adecuadamente y/o en exceso.

Se puede ver entonces que los HCO son cruciales para el rendimiento físico, especialmente en ejercicios prolongados y de alta intensidad, como los que realizan los corredores de larga distancia. Resumiendo, esto se debe a que:

- Fuente rápida de energía: durante el ejercicio de moderada a alta intensidad, los HCO son metabolizados más rápidamente que las grasas, proporcionando una fuente inmediata de energía que es fundamental para evitar la fatiga. El glucógeno almacenado en los músculos es la forma primaria en que el cuerpo utiliza los HCO para generar energía durante el ejercicio prolongado
- Prevención de la fatiga: el consumo adecuado de HCO antes y durante el ejercicio ayuda a retrasar el agotamiento de las reservas de glucógeno, lo que a su vez retrasa la aparición de la fatiga. El agotamiento de glucógeno puede llevar al "hitting the wall" o agotamiento extremo, lo cual es común en maratones u otros eventos de resistencia (Wallis & Podlogar, 2022).
- Oxidación de HCO durante el ejercicio: durante el ejercicio prolongado, el cuerpo puede oxidar entre 60-70 g de carbohidratos por hora. Este proceso es crucial para mantener el rendimiento, ya que una menor disponibilidad de glucógeno muscular reduce la capacidad para mantener la intensidad del ejercicio (Cermak & Van Loon, 2013) .
- Recuperación post-ejercicio: después del ejercicio, es esencial reponer las reservas de glucógeno mediante la ingesta de HCO, lo que facilita una recuperación rápida y prepara al cuerpo para la siguiente sesión de entrenamiento (Wallis & Podlogar, 2022).

Para continuar dando contexto a la revisión bibliográfica, se presenta otro componente que -en la actualidad- es un área de estudio cada vez más interesante.

3.10. Microbiota intestinal

La microbiota intestinal (MI) es el conjunto de microorganismos que habitan en el tracto gastrointestinal humano. Está compuesta por una amplia variedad de bacterias, virus, hongos y otros microorganismos que coexisten de manera simbiótica con el huésped humano. Estos microorganismos juegan un papel crucial en la digestión, la síntesis de nutrientes, la regulación del sistema inmunológico y la

protección contra patógenos (Zhao & Elson, 2018). La presencia de ciertas bacterias se asocia con moléculas inflamatorias que pueden causar inflamación en diversos tejidos corporales, subyacente a condiciones crónicas como obesidad, aterosclerosis, DBT tipo 2 y EII. La inflamación puede ser desencadenada por componentes estructurales de las bacterias, resultando en una cascada de vías inflamatorias que involucran interleucinas y otras citocinas. Los subproductos de los procesos metabólicos bacterianos, como algunos ácidos grasos de cadena corta (AGCC), también pueden inhibir procesos inflamatorios (Bander et al., 2020).

La MI es un ecosistema complejo de microorganismos que desempeña un papel clave en la regulación del metabolismo, la absorción de nutrientes y la modulación del sistema inmunológico (Thursby & Juge, 2017). En los últimos años, se ha identificado que la composición de la MI está influenciada por factores dietéticos y ambientales, y que una alteración en su equilibrio puede contribuir a enfermedades metabólicas y digestivas (Valdes et al., 2018).

3.11. Características de la microbiota intestinal

La MI está compuesta principalmente por dos grandes grupos de bacterias: los Firmicutes y los Bacteroidetes, aunque también se encuentran otros filos como Proteobacteria, Actinobacteria y Verrucomicrobia (Marchesi et al., 2016).

La diversidad de la MI es fundamental para su correcto funcionamiento. Una microbiota diversa permite una mayor resistencia a enfermedades y un mejor procesamiento de los alimentos, al igual que una regulación más eficiente del sistema inmune. Los microorganismos intestinales participan activamente en la fermentación de fibras no digeribles, produciendo AGCC, como el butirato, que tienen efectos antiinflamatorios y son esenciales para la salud del epitelio intestinal (Macfarlane & Macfarlane, 2012).

La MI tiene una relación directa con el sistema inmunológico. Regula la función inmunológica local y sistémica mediante la modulación de las respuestas inmunitarias, promoviendo la tolerancia a los antígenos alimentarios y manteniendo la homeostasis intestinal (Belkaid & Hand, 2014).

El término eubiosis se refiere a un estado de equilibrio saludable en la microbiota, donde existe una diversidad bacteriana adecuada y una predominancia de bacterias beneficiosas. Por el contrario, disbiosis es el desequilibrio de la microbiota,

caracterizado por una pérdida de diversidad y un aumento de bacterias patógenas o inflamatorias. La disbiosis se ha asociado con una amplia variedad de trastornos, como EII, síndrome metabólico y trastornos inmunitarios (Shreiner et al., 2015).

3.12. Factores que afectan a la microbiota intestinal: Disbiosis

La disbiosis intestinal es el término que se utiliza para describir un desequilibrio en la composición y función de la MI. Este estado de desregulación implica una alteración en la diversidad microbiana, con cambios en la cantidad y tipo de bacterias presentes en el intestino, que puede tener consecuencias negativas para la salud humana. La disbiosis está asociada con diversas enfermedades crónicas e inflamatorias, así como con trastornos metabólicos e inmunológicos (Petersen & Round, 2014).

La MI está influenciada por múltiples factores, como la dieta, la edad, el uso de antibióticos, el estrés y el nivel de actividad física. La alimentación es uno de los determinantes más importantes.

3.12.1. Causas de la disbiosis intestinal

Existen múltiples factores que pueden alterar el equilibrio normal de la MI, contribuyendo a la disbiosis. Algunas de las causas más comunes incluyen:

- **Dieta inadecuada:** La alimentación es uno de los principales factores que influyen en la composición de la microbiota. Una dieta alta en grasas saturadas, azúcares simples y alimentos procesados, y baja en fibra, puede reducir la diversidad bacteriana y favorecer el crecimiento de bacterias patógenas (Albenberg & Wu, 2014; Zhao & Elson, 2018). Por el contrario, una dieta rica en fibra e HCO complejos favorece una microbiota diversa y saludable.

- **Uso de antibióticos y otros medicamentos:** Los antibióticos pueden causar una disbiosis severa al eliminar tanto bacterias patógenas como bacterias beneficiosas del intestino. El uso frecuente o prolongado de antibióticos altera significativamente la MI, y en algunos casos, los cambios pueden ser permanentes (Langdon et al., 2016). Otros medicamentos, como los inhibidores de la bomba de protones y los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs), también pueden tener efectos negativos sobre la microbiota.

- Estrés: El estrés crónico ha demostrado tener un impacto significativo en la microbiota intestinal a través del eje intestino-cerebro, una red bidireccional de comunicación entre el sistema nervioso central y el tracto gastrointestinal. El estrés puede alterar la composición bacteriana y aumentar la permeabilidad intestinal (Clarke et al., 2014).
- Estilo de vida sedentario: La falta de actividad física también puede contribuir a la disbiosis. Los estudios han mostrado que el ejercicio regular está asociado con una mayor diversidad microbiana, mientras que un estilo de vida sedentario puede disminuir la diversidad de bacterias beneficiosas (Monda et al., 2017).
- Enfermedades y trastornos gastrointestinales: Algunas enfermedades, como el síndrome de intestino irritable (SII), la enfermedad inflamatoria intestinal (EII) y otras afecciones gastrointestinales, están estrechamente relacionadas con la disbiosis. Estas afecciones pueden tanto ser una causa como una consecuencia de la disbiosis (Shreiner et al., 2015).

3.12.2. Consecuencias de la disbiosis intestinal

La disbiosis puede tener múltiples efectos negativos sobre la salud, dada la importancia de la microbiota en la regulación del metabolismo, el sistema inmunológico y la salud intestinal en general. Algunas de las principales consecuencias incluyen:

- Inflamación y trastornos intestinales: La disbiosis puede promover una respuesta inflamatoria en el intestino, lo que contribuye a enfermedades inflamatorias como la colitis ulcerosa y la enfermedad de Crohn. Un desequilibrio en la microbiota puede llevar a un aumento en la permeabilidad intestinal ("intestino permeable"), lo que permite que toxinas y bacterias pasen al torrente sanguíneo y promuevan la inflamación sistémica (Petersen & Round, 2014).
- Síndrome metabólico: La disbiosis también está asociada con trastornos metabólicos como la obesidad, la diabetes tipo 2 y la resistencia a la insulina. Los estudios han demostrado que una microbiota menos diversa y dominada por bacterias proinflamatorias puede influir en el metabolismo energético, alterando la capacidad del cuerpo para procesar grasas e HCO (Turnbaugh et al., 2006).

- Alteraciones en el sistema inmunológico: La microbiota juega un papel fundamental en la regulación del sistema inmunológico. La disbiosis puede alterar esta relación, lo que puede contribuir al desarrollo de enfermedades autoinmunes y alergias (Belkaid & Hand, 2014). Una microbiota desregulada puede fomentar respuestas inmunitarias exageradas o incorrectas, promoviendo la inflamación crónica y los trastornos inmunitarios.
- Problemas de salud mental: La disbiosis intestinal está relacionada con alteraciones en el eje intestino-cerebro, lo que puede afectar el estado de ánimo y la salud mental. Estudios recientes sugieren que la disbiosis puede contribuir a trastornos como la depresión y la ansiedad (Dinan & Cryan, 2017).
- Aumento de la susceptibilidad a infecciones: Al alterarse la microbiota, disminuyen las bacterias beneficiosas que actúan como barrera contra patógenos. Esto aumenta el riesgo de infecciones gastrointestinales y sistémicas. La disbiosis puede facilitar el crecimiento de bacterias como *Clostridium difficile* (*C. difficile*), lo que puede causar infecciones graves (Langdon et al., 2016).

3.13. Microbiota intestinal y deportes de resistencia

Los atletas de resistencia presentan una MI diferente a la de individuos sedentarios. Se ha encontrado que el ejercicio de resistencia puede aumentar la diversidad microbiana y favorecer la proliferación de bacterias beneficiosas, como *Akkermansia muciniphila* (*A. muciniphila*) y *Veillonella*, las cuales desempeñan un papel clave en el metabolismo energético y la producción de metabolitos como el propionato (O'Donovan et al., 2020).

Los estudios han demostrado que la MI de los atletas de élite se encuentra enriquecida en especies microbianas asociadas con una mayor eficiencia metabólica y menor inflamación sistémica, lo que podría estar vinculado con una adaptación fisiológica al entrenamiento de resistencia (Scheiman et al., 2019). No obstante, la composición de la microbiota también está influenciada por la dieta, lo que hace necesario un enfoque nutricional adecuado para optimizar su equilibrio.

3.14. Microbiota e hidratos de carbono

Los HCO dietéticos moldean la MI al proporcionar una fuente de nutrientes potente para ciertos microbios. Los HCO vegetales complejos, como la fibra dietética, generalmente promueven la producción microbiana de compuestos beneficiosos para el huésped mientras previenen la degradación de los HCO del huésped en el moco colónico. En contraste, los azúcares simples y fácilmente digeribles, como la glucosa, a menudo se asocian con efectos adversos en la salud y la MI (Coker et al., 2021).

El consumo elevado de azúcares simples está asociado con alteraciones en la MI, favoreciendo el crecimiento de bacterias patógenas y reduciendo la diversidad microbiana (Bishu & Kao, 2024). En estudios recientes, se ha observado que dietas ricas en azúcares refinados pueden inducir disbiosis intestinal, aumentando la proliferación de *Klebsiella pneumoniae* (*K. pneumoniae*), una bacteria vinculada con la inflamación intestinal y el aumento de la permeabilidad del epitelio intestinal (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019).

En modelos animales, el consumo excesivo de HCO simples ha demostrado incrementar la permeabilidad intestinal y la respuesta inflamatoria sistémica, lo que podría afectar el rendimiento deportivo y la recuperación en corredores de resistencia (Agus et al., 2022). Por el contrario, dietas ricas en fibra e HCO complejos pueden atenuar estos efectos negativos al promover el crecimiento de bacterias productoras de AGCC, como *Faecalibacterium prausnitzii* (*F. prausnitzii*) y *Roseburia*.

El impacto de los patrones dietéticos en la microbiota ha sido ampliamente estudiado. Se ha demostrado que las dietas ricas en fibra favorecen una microbiota diversa y estable, mientras que las dietas altas en azúcares simples y grasas saturadas pueden inducir disbiosis, promoviendo la proliferación de bacterias proinflamatorias como Enterobacteriaceae (Agus et al., 2022).

3.15. Microbiota y ácidos grasos de cadena corta

Los AGCC son compuestos clave que se producen en el intestino a través de la fermentación de fibra dietética e HCO complejos. Estos compuestos están relacionados con la dieta, porque el consumo de alimentos ricos en fibra, como frutas, vegetales, legumbres y granos integrales, favorece su producción. En contraste, dietas bajas en fibra y altas en HCO simples o grasas saturadas pueden reducir la

producción de AGCC, lo que puede comprometer la salud intestinal y aumentar el riesgo de inflamación y otras patologías.

Los AGCC, como el butirato, propionato y acetato, son metabolitos clave producidos por la fermentación de fibra dietética por parte de bacterias beneficiosas como *F. prausnitzii*, *Roseburia* y *Bifidobacterium* (Agus et al., 2022). Estos compuestos desempeñan múltiples funciones en la salud intestinal y metabólica, incluyendo la regulación de la inflamación, la modulación del metabolismo energético y la preservación de la barrera epitelial intestinal (Sonnenburg & Sonnenburg, 2019).

Sin embargo, el consumo excesivo de azúcares simples ha demostrado alterar la producción de AGCC, reduciendo sus concentraciones y afectando negativamente la homeostasis intestinal. La menor producción de butirato, en particular, está asociada con una mayor permeabilidad intestinal y un aumento en la translocación de bacterias patógenas hacia el torrente sanguíneo, lo que puede desencadenar respuestas inflamatorias crónicas y contribuir a enfermedades metabólicas y trastornos digestivos (Bishu & Kao, 2024). En contraste, dietas ricas en fibra favorecen la fermentación microbiana y la producción adecuada de AGCC, promoviendo un ambiente intestinal estable y resistente a la inflamación.

En modelos animales y estudios en humanos, la reducción en la producción de AGCC debido al consumo de azúcares simples ha sido vinculada con un aumento en la proporción de bacterias proinflamatorias como *Proteobacteria* y *Fusobacterium*, así como una disminución en la abundancia de *A. muciniphila*, una bacteria clave en el mantenimiento de la integridad intestinal (Agus et al., 2022).

En resumen, los AGCC desempeñan un papel crucial en la salud intestinal y sistémica, ya que son una fuente importante de energía para las células del colon y tienen diversas funciones antiinflamatorias e inmunomoduladoras (Koh et al., 2016). Las funciones son:

- Energía para las células intestinales: el butirato es utilizado por los colonocitos para obtener energía, lo que promueve la salud y el funcionamiento de la barrera intestinal.
- Mantenimiento de la integridad intestinal: los AGCC, especialmente el butirato, ayudan a fortalecer la barrera intestinal al reducir la permeabilidad intestinal, lo que previene la condición conocida como "intestino permeable" (*leaky gut* en inglés).

- Efecto antiinflamatorio: porque reducen la inflamación al inhibir la producción de citoquinas proinflamatorias y al activar las células inmunes que regulan la respuesta inflamatoria.
- Regulación del metabolismo: ya que influyen en el metabolismo energético al modular la producción de hormonas relacionadas con el hambre, como la leptina, y al mejorar la sensibilidad a la insulina, ayudando a regular el azúcar en la sangre.
- Protección contra enfermedades: tienen efectos protectores contra enfermedades metabólicas (como la DBT tipo 2), EII (como la colitis ulcerosa) y algunos tipos de cáncer (Koh et al., 2016).

Los principales AGCC son el acetato (el más abundante, que se produce principalmente por bacterias del filo Firmicutes; es absorbido por el hígado y se utiliza como precursor en la síntesis de colesterol y AG), el propionato (producido por bacterias del filo Bacteroidetes, se absorbe en el colon y se transporta al hígado, donde juega un papel en la regulación de la gluconeogénesis (producción de glucosa); el butirato (producido por bacterias como *F. prausnitzii*, *Roseburia intestinalis* (*R. intestinalis*) y *Eubacterium rectale* (*E. rectale*); es fundamental para la salud del colon, ya que es la principal fuente de energía para las células del epitelio colónico, además tiene efectos antiinflamatorios (Koh et al., 2016).

3.16. Función de la microbiota en el rendimiento deportivo

La MI juega un papel fundamental en la digestión y absorción de nutrientes, así como en la modulación del sistema inmunológico, todos factores claves para optimizar el rendimiento deportivo. En los atletas, la microbiota contribuye a:

- *Digestión y absorción de nutrientes:* La microbiota descompone nutrientes que el intestino humano no puede digerir por sí solo, como fibras e HCO complejos, produciendo metabolitos beneficiosos como los AGCC, que tienen efectos antiinflamatorios y energéticos. Estos AGCC también ayudan en la absorción de minerales como el calcio y el magnesio, esenciales para la función muscular y el rendimiento físico (Monda et al., 2017).
- *Modulación del sistema inmunológico:* La MI regula la respuesta inmunológica, esencial para los atletas que están sometidos a estrés físico. El ejercicio

de alta intensidad puede debilitar temporalmente el sistema inmune, pero una microbiota equilibrada puede contrarrestar este efecto. Estudios han demostrado que una microbiota diversa y rica en bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* mejora la barrera intestinal, previniendo infecciones y reduciendo la inflamación sistémica (Belkaid & Hand, 2014; Clark & Mach, 2016).

La modulación de la MI a través de la dieta ha sido objeto de investigación en el contexto del rendimiento deportivo. Se ha propuesto que la incorporación de prebióticos y probióticos en la dieta de los atletas puede contribuir a la estabilidad de la microbiota y mejorar la función inmunológica (Mach & Fuster-Botella, 2017). Además, se ha observado que estrategias dietéticas basadas en el consumo de HCO complejos, fibras solubles y polifenoles pueden favorecer una MI más diversa y resistente a la disbiosis inducida por el ejercicio intenso (Chen et al., 2024).

4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Objetivos

4.1.1. Objetivo general

-Analizar la evidencia científica en corredores de larga distancia sobre la relación del consumo de azúcares simples y los efectos en la microbiota intestinal.

4.1.2. Objetivos específicos

-Evaluar la evidencia científica disponible sobre el consumo de azúcares simples y su influencia en la microbiota, publicada entre 2018 y 2024.

-Analizar los efectos que las estrategias nutricionales altas en azúcares simples tienen sobre la microbiota intestinal en corredores de larga distancia durante el mismo período.

-Interpretar la literatura científica que analiza la microbiota intestinal de estos atletas.

-Comparar los efectos en la microbiota intestinal de una dieta basada en azúcares simples en relación con una dieta rica en hidratos de carbono complejos.

-Establecer una relación entre las estrategias nutricionales utilizadas por los corredores de larga distancia y las modificaciones en su microbiota intestinal.

4.2. Marco metodológico

El presente trabajo es una revisión bibliográfica retrospectiva. Se recopiló la evidencia científica que existe sobre la microbiota de corredores de larga distancia y el efecto que tiene el consumo de azúcares simples sobre la misma. El material seleccionado durante el intervalo 2018 y 2024 (inclusive), se analizó mediante un enfoque descriptivo. Este enfoque se centró en explorar cómo se han interpretado las interacciones entre los hidratos de carbono y la microbiota intestinal en la literatura y así poder evaluar cuál es el impacto en la microbiota intestinal de corredores de larga distancia por el consumo de estrategias nutricionales altas en azúcares simples para el rendimiento deportivo.

4.3. Definición del problema

Una vez elegido el área de investigación, se definió el tema y alcance. A partir de la definición del tema de interés, se formuló la pregunta problema o PICO (**Tabla 6**).

Pregunta PICO: *En corredores de larga distancia (P), ¿cómo afecta el consumo de azúcares simples (I) en comparación con una dieta rica en hidratos de carbono complejos (C) a la composición y diversidad de la microbiota intestinal (O)?*

Tabla 6: Estructuración pregunta PICO

P (<i>Patient</i>)	La microbiota de corredores larga distancia
I (<i>Intervention</i>)	Análisis del efecto de azúcares simples en la microbiota intestinal
C (<i>Comparison</i>)	Dieta rica en hidratos de carbono complejos
O (<i>Outcome</i>)	Disbiosis intestinal a causa de la dieta (factor ambiental), es decir, cambios en la composición y diversidad de la microbiota intestinal.

Nota: elaboración propia a partir del esquema de pregunta PICO (Anexo I).

4.4. Estrategias de búsqueda

Se diseñaron estrategias específicas para la búsqueda de artículos científicos, utilizando los filtros destinados a obtener información actualizada disponible de literatura científica en los temas relevantes. Se utilizaron las bases de datos bibliográficas del ámbito de la salud y del deporte, incluyendo Google Académico, PubMed/Medline, SciELO, LILACS, IBECS, y Biblioteca Cochrane. Las palabras claves se utilizaron en dos idiomas (español e inglés) con términos como:

- En español: "nutrición en corredores de larga distancia", "recarga de glucógeno", "microbiota en corredores de larga distancia", "salud intestinal", "disbiosis", "azúcares simples".
- En inglés: "nutrition in long distance runners", "glycogen replenishment", "microbiota in long distance runners", "gut health", "dysbiosis", "simple sugars".

Para especificar las búsquedas se utilizaron los operadores booleanos "AND", "OR" y "()".

4.5. Variables del Estudio

- Variable independiente: Consumo de azúcares simples.
- Variable dependiente: Cambios en la microbiota intestinal de los corredores de larga distancia.

4.6. Selección de artículos

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> ○ Estudios publicados entre 2018 y 2024. ○ Artículos en español e inglés ○ Estudios que investiguen el efecto de los azúcares simples y/o HCO sobre la microbiota intestinal. ○ Evidencia científica relacionada con corredores de larga distancia y/o deportistas. ○ Se considerarán estudios que incluyan no deportistas, ya que se evaluará el efecto de los azúcares simples en la microbiota intestinal. ○ Evidencia científica sobre disbiosis y alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Artículos sin acceso al texto completo. ○ Artículos sin acceso gratuito. ○ Ensayos clínicos que obtengan una calificación inferior a 6/10 en la Escala de PEDro (Anexo II). ○ Estudios basados en deportistas que realicen entrenamiento de hipertrofia. ○ Estudios basados en personas menores de 18 años. ○ Estudios basados en personas mayores de 60 años .

5. RESULTADOS

5.1. Resultados de búsqueda: el proceso en etapas

Tabla 7: Resultados de búsqueda bibliográfica en diferentes bases de datos según palabras clave

Palabras claves	Google Académico	PubMed	SciELO	LILACS	IBECs	Biblioteca Cochrane
nutrición en corredores de larga distancia	145.000	0	1	1	0	0
recarga de glucógeno	581	0	0	0	0	0
microbiota en corredores de larga distancia	643	0	0	0	0	0
disbiosis	10.200	23.062	59	107	55	10
azúcares simples	32.000	2	22	49	42	459
nutrition in long distance runners	89.200	127	0	1	1	15
glycogen replenishment	27.900	310	2	0	1	40
microbiota in long distance runners	18.000	4	0	0	0	2
dysbiosis	241.000	23.075	105	153	64	1265
simple sugars	18.000	413.555	65	69	45	459

- En primer lugar se realizó la búsqueda de las palabras claves en las bases de datos científicas mencionadas anteriormente (**Tabla 7**).
- Al obtener los resultados de la tabla anterior, el filtro se realizó para contemplar únicamente los resultados en español e inglés.
- Luego se filtraron los resultados en función del período objetivo (2018-2024).

- Se aplicaron operadores booleanos para realizar una búsqueda avanzada y más específica al tema de interés. De esta forma se colocaron las asociaciones de palabras clave en las bases de datos de Google Académico, Pubmed, Scielo, LILACS, IBECS y Biblioteca Cochrane: "microbiota AND corredores de larga distancia AND hidratos de carbono", "azúcares simples AND microbiota", "microbiota AND deportistas OR corredores", "deportistas AND disbiosis", "sports AND nutrition", "microbiota AND long distance runners", "runners AND dysbiosis", "dysbiosis AND microbiota AND runners", "glycogen replenishment AND long resistance runners".
- Se analizaron títulos y resúmenes con la intención de identificar si abordaban: la microbiota de deportistas y/o corredores de larga distancia, y/o el consumo de azúcares simples y/o hidratos de carbono y sus efectos sobre la MI, y/o el efecto de la dieta de los deportistas sobre la microbiota y/o disbiosis en microbiota por alimentación. Aquellos artículos que no estaban relacionados con estos temas fueron descartados en esta fase.
- Luego, se avanzó con los resultados obtenidos y se aplicaron los criterios de exclusión (descartando aquellos a los que no se podía acceder al texto completo y/o que eran pagos, y/o que se analizaba a población menor a 18 años y/o mayores de 60 años y/o aquellos que en Escala de PEDro puntuaban menor a 6/10).
- Se descartaron aquellos que estaban duplicados.
- Se obtuvieron un total de 35 artículos (12 en Google Académico, 22 en PubMed, 1 en Biblioteca Cochrane, 0 en SciELO, 0 en LILACS, 0 en IBECS) para lectura completa y evaluación metodológica.

5.2. Síntesis y redacción

El proceso de síntesis y redacción de los resultados en este trabajo se llevó a cabo mediante una evaluación estructurada de la bibliografía analizada, con el objetivo de organizar la información de manera clara y relevante para, luego poder responder a los objetivos planteados.

Para la presentación de los hallazgos, se diseñó una gráfica descriptiva que permitió visualizar las características principales de cada estudio revisado, incluyendo autor/es, año de publicación, el tipo de estudio, la población estudiada, la intervención, la duración y los resultados obtenidos. Este enfoque facilitó el análisis de la evidencia

disponible. En el proceso de redacción, se mantuvo un enfoque descriptivo, asegurando que la información presentada reflejara con fidelidad los hallazgos de cada estudio.

El propósito fue ordenar la información para luego, establecer relaciones y poder concluir dando respuesta a los objetivos planteados en este trabajo, con el fin de aportar una perspectiva integral -y actualizada- sobre el tema. A continuación de la gráfica descriptiva se exponen los resultados en función de los objetivos específicos planteados en el trabajo.

5.3. Análisis de los resultados

A continuación se presenta una gráfica descriptiva (**Tabla 8**) con la bibliografía encontrada y analizada.

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
Barcerá, I. (2023)	<i>Revisión narrativa sobre la composición de la microbiota intestinal en deportistas y el efecto de patrones alimentarios</i>	Revisión narrativa	No aplica (N/A)	Revisión bibliográfica de 28 estudios en deportistas	N/A	<ul style="list-style-type: none"> -Deportistas: MI con mayor abundancia de <i>Veillonella</i>, <i>Bacteroides</i>, <i>Prevotella</i>, <i>Methanobrevibacter</i> y <i>Akkermansiaceae</i>. -Tipo de dieta afectó la composición de la MI con implicaciones en el rendimiento deportivo. -Probióticos y prebióticos alteraron favorablemente la MI. -Dietas ricas en proteínas o HCO simples comprometieron la diversidad bacteriana.
Mohr et al., (2020)	<i>La microbiota intestinal del atleta</i>	Revisión	N/A	Evaluación del impacto del ejercicio y la dieta en la microbiota de atletas	N/A	<ul style="list-style-type: none"> -Atletas: mostraron mayor diversidad de especies microbianas en comparación de individuos sedentarios. -Entrenamiento físico promovió una comunidad microbiana intestinal más saludable y funcional, con aumento en la producción de AGCC (butirato) -Existieron diferencias en la composición microbiana en función del tipo de deporte y dieta asociada.
Al Bander et al., (2020)	<i>Micorbiota intestinal e inflamación: una revisión general</i>	Revisión	N/A	Análisis de relación entre MI y marcadores inflamatorios	N/A	<ul style="list-style-type: none"> -La MI estuvo involucrada en la producción de moléculas proinflamatorias, como las lipopolisacáridos (LPS), que pueden desencadenar inflamación sistémica cuando atraviesan la barrera intestinal. -Los productos metabólicos de las bacterias intestinales, como AGCC, tuvieron propiedades antiinflamatorias. Inhibieron la activación de factores proinflamatorios como NF-kB. -Alteraciones en la microbiota, como la disbiosis, estuvieron asociadas con inflamación crónica que contribuye al desarrollo de enfermedades metabólicas y cardiovasculares (CV).

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
Zong et al., (2024)	<i>Hidratos de carbono no digeribles y microbiota intestinal: Un dúo dinámico en la defensa del huésped</i>	Revisión	N/A	Explorar la relación entre los HCO no digeribles y la MI y cómo esta interacción influye en la defensa inmunológica del huésped.	N/A	<p>-HCO no digestibles favorecen bacterias beneficiosas (<i>Bacteroides</i>, <i>A. muciniphila</i>, <i>Roseburia</i>, <i>Clostridium cluster XIVa</i>, <i>F. prausnitzii</i>, <i>Prevotella</i>, <i>Ruminococcus</i>, <i>Bifidobacterium</i>, <i>Lactobacillus</i>).</p> <p>-Las fibras actúan como sustratos para la fermentación por parte de la MI. Esta fermentación produce AGCC (acetato, propionato, butirato) que tienen efectos beneficiosos en la salud intestinal y la regulación inmunológica.</p> <p>-Los AGCC actúan como moléculas de señalización que modulan las células inmunitarias, reduciendo la inflamación y promoviendo la homeostasis inmune.</p>
Zheng et al., (2024)	<i>Efectos de los nutrientes alimentarios y los compuestos bioactivos en la microbiota intestinal: una revisión exhaustiva</i>	Revisión	N/A	Enfoque en el impacto de diferentes nutrientes y compuestos bioactivos en la MI.	N/A	<p>-Los HCO simples (glucosa y fructosa) afectan la MI al reducir la diversidad microbiana y aumentar la prevalencia de bacterias patógenas como <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)</p> <p>-Los HCO complejos y fibras dietéticas promueven la producción AGCC, con impacto positivo en la salud intestinal y metabólica.</p> <p>-Consumo elevado de HCO simples se relaciona con riesgo de desarrollar obesidad, DBT tipo 2 y enfermedades inflamatorias crónicas por disbiosis.</p> <p>-Nutrientes como fibra, polifenoles y proteínas pueden modular la microbiota intestinal, influyendo en la salud metabólica y prevención de enfermedades crónicas.</p>
Duan, et al. (2024)	<i>El impacto del ejercicio sobre la microbiota</i>	Estudio comparativo	25 corredores aficionados (40-60 años) que corrían	Comparación de microbiota entre corredores y	N/A	-Corredores presentaron mayores niveles de los géneros <i>Ruminococcus</i> y <i>Coprococcus</i> .

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>intestinal en corredores serios aficionados de mediana edad: un estudio comparativo</i>		al menos 40 km por semana. Grupo control (GC): 22 individuos sedentarios sanos, sin antecedentes de ejercicio habitual.	personas sedentarias		El grupo control mostró una mayor abundancia de <i>Bacteroides</i> y <i>Lachnoclostridium</i> . -Los corredores mostraron una mayor actividad en las vías metabólicas relacionadas con el metabolismo de HCO y energía.
Rackerby, et al. (2020)	<i>Comprensión de los efectos de los componentes de la dieta en el microbioma intestinal y la salud humana</i>	Revisión	N/A	Relación existente sobre la relación entre la dieta y la MI, destacando cómo los macronutrientes y micronutrientes afectan al microbioma	N/A	-El consumo elevado de azúcares simples está asociado con una disminución en la diversidad microbiana y un aumento en la producción de bacterias proinflamatorias. -Dietas ricas en azúcares simples alteraron la MI y promovieron un estado inflamatorio en el huésped. -39 de 42 estudios en humanos revisados mostraron que el consumo de fibra aumentaba la diversidad microbiana y la presencia de bacterias beneficiosas. -Ratones alimentados con dietas ricas en fibra mostraron un aumento en bacterias fermentadoras de fibra y producción de butirato, lo que llevó a menor inflamación intestinal y mejor metabolismo energético. -Se observó que dietas pobres en fibra reducían la diversidad microbiana y aumentaban la presencia de patógenos oportunistas.
Cella et al., (2021)	<i>Cambios en la microbiota intestinal inducidos por la nutrición y la</i>	Revisión	N/A	Interacción entre la dieta, el ejercicio y la microbiota intestinal en atletas	N/A	-El ejercicio induce cambios en la MI, aumenta la diversidad de especies bacterianas como <i>F. prausnitzii</i> y <i>A. muciniphila</i>)

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>actividad física: Posibles implicaciones para la salud humana y el rendimiento deportivo</i>					-El ejercicio aumenta la producción de AGCC (butirato) con papel clave en la modulación de la inflamación y la función inmunológica
Cronin et al., (2021)	<i>La fibra dietética modula la microbiota intestinal</i>	Revisión narrativa	N/A	Efectos de la fibra dietética en la MI y su capacidad para mejorar el metabolismo en individuos con enfermedades metabólicas	N/A	-El consumo de fibra aumenta la diversidad y riqueza de la MI. La fibra aumenta las poblaciones de bacterias fermentadoras como <i>Ruminococcus</i> y <i>F. prausnitzii</i> , que producen AGCC (butirato y propionato) -Los AGCC mejoran el metabolismo de la glucosa y los lípidos, activan receptores que influyen en la secreción de insulina y la regulación de la glucosa, así como en la reducción de los niveles de lípidos en sangre.
García et al., (2022)	<i>Impacto de los azúcares dietéticos en la microbiota intestinal y la salud metabólica</i>	Revisión	N/A	Efecto del azúcar en la microbiota y metabolismo	N/A	-El consumo elevado de glucosa, fructosa y sacarosa provocó una disminución de la diversidad microbiana y una alteración en la composición bacteriana (aumento de Proteobacteria, disminución de Firmicutes y Bacteroidetes). -Aumento en los niveles de marcadores proinflamatorios como IL-6 y TNF-alfa, así como la disminución de citoquinas antiinflamatorias. Estas alteraciones favorecen la producción de metabolitos inflamatorios y reducen la síntesis de AGCC, como butirato, que es crucial para mantener la integridad intestinal. -Los azúcares simples afectaron la permeabilidad de la barrera intestinal, lo que permite la entrada de endotoxinas bacterianas al torrente

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
						<p>sanguíneo, generando una respuesta inflamatoria sistémica.</p> <p>-Impacto negativo en la permeabilidad intestinal por la reducción de la expresión de proteínas claves en la barrera intestinal como claudina y occludina.</p>
<p>Kawano et al., (2022)</p>	<p><i>El desequilibrio de la microbiota inducido por el azúcar en la dieta altera la protección inmunomediada contra el síndrome metabólico</i></p>	<p>Estudio experimental</p>	<p>Ratones</p>	<p>Efecto del azúcar en la microbiota y sistema inmune</p>	<p>N/A</p>	<p>-Una dieta alta en azúcar favoreció la proliferación de <i>Faecalibaculum rodentium</i> (<i>F. rodentium</i>), que desplazó a las bacterias que indujeron las células Th17, lo que disminuyó la inmunidad protectora en el intestino.</p> <p>-La pérdida de células Th17 reguladoras promovió la obesidad, la resistencia a la insulina y la inflamación metabólica.</p> <p>-El consumo excesivo de azúcar alteró la microbiota y disminuyó la protección inmune contra el síndrome metabólico.</p>
<p>Fajstova et al., (2020)</p>	<p><i>Una dieta rica en azúcares simples promueve una respuesta proinflamatoria a través de la alteración de la microbiota intestinal y la señalización TLR4</i></p>	<p>Estudio experimental</p>	<p>Ratones</p>	<p>Dieta alta en azúcar y su efecto en microbiota e inflamación</p>	<p>3 semanas</p>	<p>-Los ratones alimentados con dieta alta en azúcares mostraron un aumento significativo en la permeabilidad intestinal y la activación del sistema inmune, lo que se reflejó en un mayor tamaño del bazo y niveles más altos de neutrófilos en el tejido esplénico.</p> <p>-Los ratones alimentados con dieta alta en azúcares mostraron una disbiosis intestinal caracterizada por un aumento de patobiontes como <i>E. coli</i> y <i>Candida albicans</i> (<i>C. albicans</i>).</p> <p>-La dieta rica en azúcares simples promovió una respuesta proinflamatoria sistémica, con niveles elevados de citoquinas proinflamatorias como IL-6, IL-1beta y TNF-alfa en el colon.</p>
<p>Sato M., Suzuki Y.</p>	<p><i>Alteraciones de la microbiota</i></p>	<p>Estudio observacional</p>	<p>9 corredores de ultramaratón</p>	<p>Análisis de microbiota antes y</p>	<p>N/A</p>	<p>-Ultramaratonistas mostraron reducción en bacterias productoras de butirato.</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
(2022)	<i>intestinal en corredores de ultramaratón</i>		(edad promedio de 46,9 +/- 5,8 años)	después de un ultramaratón		-No se observaron cambios significativos en la diversidad alfa y beta de la MI entre pre carrera y post carrera. -La abundancia de <i>F. prausnitzii</i> disminuyó significativamente -Se encontraron aumentos significativos en especies como <i>Collinsella aerofaciens</i> (<i>C. aerofaciens</i>) y <i>Catenibacillus scindens</i> (<i>C. scindens</i>) después de la carrera.
Di Rienzi, S., Britton, R. (2020)	<i>Adaptación de la microbiota intestinal a los azúcares y edulcorantes de la dieta moderna</i>	Revisión	N/A	Adaptaciones de la microbiota a azúcares modernos	N/A	-Los azúcares simples afectan la microbiota intestinal mediante cambios en la transcripción, la composición y la adaptación genética de los microbios a lo largo del tracto intestinal. -Se observó un aumento de bacterias especializadas en la fermentación de azúcares simples, como <i>E. coli</i> y <i>Enterobacteriaceae</i> , en dietas altas en estos compuestos.
Alam, Y., et al. (2022)	<i>Metabolismo y efecto de los azúcares en la salud</i>	Revisión	N/A	Analizar los efectos metabólicos de varios azúcares simples (glucosa, fructosa, galactosa) en la salud humana.	N/A	-El consumo excesivo de fructosa afectó la MI al provocar disbiosis. -Consumo excesivo de azúcares simples, especialmente fructosa y sacarosa, estuvo asociado con un aumento de peso, resistencia a la insulina y mayor riesgo de EC y metabólicas.
Beam, A., et al. (2021)	<i>Efecto de la dieta y sus componentes en la composición de la microbiota intestinal</i>	Revisión	N/A	Impacto de diferentes patrones dietéticos en la microbiota intestinal	N/A	-Las dietas ricas en grasas y azúcares procesados alteraron significativamente la diversidad y composición de la MI, aumentando filos perjudiciales (Firmicutes, Proteobacteria) y disminuyendo especies beneficiosas como <i>Lactobacillus</i> . -Las dietas altas en grasas, azúcares y ultraprocesados, aumentaron la inflamación y los metabolitos asociados con enfermedades

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
						<p>metabólicas, como el aumento de LPS y la reducción de la integridad de la barrera intestinal.</p> <p>-Dietas mediterránea y basada en plantas favorecieron microbiota diversa; dietas altas en grasas y azúcares alteraron la microbiota.</p>
<p>Gomez de Oliveira Neves, V., et al. (2020)</p>	<p><i>Ingesta de una dieta alta en azúcar, actividad física y microbiota intestinal: implicaciones para la obesidad en ratas</i></p>	<p>Estudio experimental</p>	<p>Ratas Wistar machos, divididas en 4 grupos</p>	<p>Impacto de dieta alta en azúcar y ejercicio sobre microbiota</p>	<p>15 semanas</p>	<p>-Dieta alta en azúcar aumentó Firmicutes y redujo Bacteroidetes; el ejercicio revirtió estos cambios en ratas.</p> <p>-El consumo de la dieta alta en azúcares incrementó la masa corporal, los depósitos de grasa y los niveles séricos de triglicéridos y VLDL, también alteró la abundancia de taxones bacterianos asociados con desórdenes metabólicos.</p> <p>-El entrenamiento con natación revirtió estos cambios en las ratas que consumieron la dieta alta en azúcares, y moduló beneficiosamente la MI en combinación con la dieta estándar.</p>
<p>Coker, J., et al. (2021)</p>	<p><i>Carbohidratos grandes y pequeños, de la fibra dietética a los ácidos siálicos: cómo influyen los glicanos en el microbioma intestinal y afectan a la salud humana</i></p>	<p>Revisión</p>	<p>N/A</p>	<p>Impacto de distintos tipos de carbohidratos en la microbiota</p>	<p>N/A</p>	<p>-La fibra -HCO- promovió la producción microbiana de compuestos beneficiosos para el huésped (AGCC).</p> <p>-Los azúcares simples estuvieron asociados a efectos adversos tanto en la salud como en la MI, favoreciendo disbiosis y a la proliferación de bacterias patógenas.</p>
<p>Nova E., et al.</p>	<p><i>La influencia de los factores</i></p>	<p>Revisión narrativa</p>	<p>N/A</p>	<p>-Se revisaron estudios previos</p>	<p>N/A</p>	<p>-La dieta resultó un factor clave en la modulación de la MI.</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
(2022)	<i>dietéticos en la microbiota intestinal</i>			sobre cómo la dieta influye en la MI y su relación con la salud metabólica, el sistema inmune y el rendimiento deportivo. -Se analizaron los efectos de diversos factores dietéticos en la MI, incluyendo patrones dietéticos generales, macronutrientes y su impacto en la MI, procesamiento y cocción de los alimentos y su efecto en la composición MI, uso de aditivos alimentarios y su relación con la disbiosis, dieta en condiciones fisiológicas específicas (embarazo, lactancia, ejercicio físico).		-Las dietas ricas en fibra e HCO complejos favorecieron una microbiota más diversa y saludable, aumentando la producción de AGCC. -Las dietas altas en azúcares simples y grasas saturadas estuvieron asociadas con disbiosis intestinal, caracterizada por una reducción en la diversidad microbiana y un aumento de bacterias proinflamatorias como <i>Enterobacteriaceae</i> . -El ejercicio de resistencia aumentó la abundancia de bacterias beneficiosas, como <i>A. muciniphila</i> y <i>Veillonella</i> , que pueden mejorar la eficiencia metabólica. -Algunos aditivos, como los edulcorantes artificiales y los emulsionantes, indujeron disbiosis y alteraron la homeostasis intestinal. -Los alimentos fermentados y los probióticos mejoraron la diversidad microbiana y contribuyeron a la estabilidad del ecosistema intestinal.
Mora-Flores, L. et al. (2023)	<i>El papel de la ingesta de carbohidratos en el microbioma</i>	Revisión sistemática	47 estudios, de los cuales 36 fueron en animales y 11	Evaluación del impacto del consumo de	N/A	-Los HCO como el almidón resistente, los oligosacáridos, las fibras solubles e insolubles afectaron la abundancia de bacterias beneficiosas como <i>Bifidobacterium</i> y

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>intestinal: una revisión sistemática del peso de la evidencia</i>		fueron ensayos en humanos	carbohidratos en la microbiota		<p><i>Lactobacillus</i>, y modularon la abundancia de Firmicutes y Bacteroidetes.</p> <p>-Las fibras solubles, como la pectina, mostraron un aumento en los niveles de <i>Bacteroides</i>, mientras que las fibras insolubles aumentaron la abundancia de Actinobacteria y redujeron la de Firmicutes</p> <p>-El almidón gelatinizado incrementó la abundancia de <i>Prevotella</i>, mientras que el almidón resistente disminuyó los niveles de <i>Blautia</i>.</p> <p>-Los oligosacáridos mostraron un fuerte impacto en el aumento de <i>Lactobacillus</i> y en la reducción de <i>Enterococcus</i>.</p>
Saffouri, G., et al. (2019)	<i>La disbiosis microbiana del intestino delgado subyace a los síntomas asociados a los trastornos gastrointestinales funcionales</i>	Estudio clínico	126 pacientes sintomáticos vs. 38 controles	Comparación de microbiota intestinal en pacientes con síntomas gastrointestinales	N/A	<p>-Pacientes con síntomas gastrointestinales mostraron menor diversidad microbiana, con reducción de <i>Porphyromonas</i>, <i>Fusobacterium</i> y <i>Prevotella</i>.</p> <p>-En el estudio piloto, el cambio a una dieta baja en fibra y alta en azúcares simples resultó en una disminución de la diversidad microbiana y en un aumento de la permeabilidad intestinal, lo que desencadenó síntomas gastrointestinales como distensión y dolor abdominal.</p>
Hughes, R. & Holscher, H. (2021)	<i>Alimentar los microbios intestinales: una revisión de la interacción entre la dieta, el ejercicio y la microbiota</i>	Revisión	N/A	Análisis del impacto de estrategias dietéticas en la microbiota y rendimiento atlético	N/A	<p>-Dietas altas en proteínas e HCO simples redujeron la diversidad microbiana; prebióticos y probióticos optimizaron la microbiota.</p> <p>-El uso de prebióticos y probióticos mostraron un gran potencial para mejorar la salud intestinal en los atletas, reduciendo la inflamación y promoviendo una mejor absorción de nutrientes. Los probióticos, como <i>Lactobacillus</i> y <i>Bifidobacterium</i> mejoraron la integridad de la</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>intestinal en los atletas</i>					barrera intestinal y modularon la respuesta inflamatoria.
Marttinen, M., et al. (2020)	<i>Microbiota intestinal, probióticos y rendimiento físico en atletas y personas físicamente activas</i>	Revisión	N/A	Estudio sobre microbiota, probióticos y rendimiento físico	N/A	-Los probióticos influyeron en la composición de la microbiota, mejoraron la absorción de nutrientes y favorecieron la recuperación atlética. -Atletas y personas físicamente activas tendieron a presentar una mayor diversidad de MI y mayor abundancia de bacterias beneficiosas como <i>Akkermansia</i> y <i>Veilonella</i> .
Morita, H. et al. (2023)	<i>Bacteroides uniformis</i> y su sustrato preferido, la α -ciclodextrina, mejoran el rendimiento del ejercicio de resistencia en ratones y varones humanos	Estudio mixto (observacional y ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo).	-25 corredores de larga distancia participaron en un análisis de correlación entre microbiota y rendimiento. -36 hombres sanos (20-49 años, con ejercicio regular) participaron en el ensayo clínico aleatorizado con suplementación. -Ratones C57BL/6J SPF fueron utilizados en pruebas de resistencia.	Suplementación con α -ciclodextrin o placebo en humanos. Se administró <i>Bacteroides uniformis</i> (<i>B. uniformis</i>) en ratones.	En humanos 9 semanas. En ratones 7 semanas (con dieta suplementada y pruebas semanales de natación)	<u>En humanos:</u> -La suplementación con α -ciclodextrin (α CD) aumentó la abundancia de <i>B. uniformis</i> y mejoró el rendimiento en la prueba de bicicleta de 10 km en comparación con el placebo. <u>En ratones:</u> -La administración de <i>B. uniformis</i> y α CD prolongó el tiempo de natación hasta el agotamiento. -Se observó un aumento en los AGCC intestinales (acetato y propionato), lo que sugiere una mejora en la producción de energía.
Lin, C. et al., (2020)	<i>La suplementación con</i>	Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego,	21 corredores (14 hombres y 7	<u>Grupo experimental:</u> Suplementación	5 semanas	-Se observó un incremento de <i>Bifidobacterium longum</i> (<i>B. longum</i>) en el grupo suplementado (8.63 veces más que el grupo placebo).

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<p><i>Bifidobacterium longum subsp. OLP-01</i> durante el entrenamiento de carrera de resistencia mejora el rendimiento en corredores de media y larga distancia: Un ensayo controlado doble ciego</p>	<p>controlado con placebo.</p>	<p>mujeres) de entre 20 y 30 años</p>	<p>con <i>Bifidobacterium longum subsp. longum OLP-01</i> (1.5×10^{10} UFC/día en cápsulas). <u>Grupo control:</u> Placebo indistinguible en apariencia y administrado en las mismas condiciones. -Se evaluó el rendimiento con la prueba de Cooper de 12 minutos, midiendo la distancia recorrida antes y después de la intervención. -Se analizaron muestras de sangre, suero y microbiota fecal antes y después del experimento.</p>		<p>-Hubo una reducción del 81.03% en <i>Escherichia-Shigella</i>, bacteria potencialmente inflamatoria. -Suplementación con <i>Bifidobacterium longum OLP-01</i> mejoró el rendimiento en corredores de media y larga distancia, aumentando la capacidad aeróbica.</p>
<p>Jang, L., et al., (2019)</p>	<p>La combinación de deporte y dieta específica para el deporte está asociada con características de la microbiota</p>	<p>Estudio observacional comparativo</p>	<p>45 hombres divididos en 3 grupos: 15 corredores de larga distancia, 15 culturistas, 15 hombres</p>	<p>-Se comparó la microbiota intestinal entre corredores de larga distancia, culturistas y sujetos sedentarios. -Se analizaron sus hábitos dietéticos</p>	<p>N/A. No hubo intervención dietética o de entrenamiento, solo se analizaron los datos</p>	<p>-No se encontraron diferencias significativas en la diversidad microbiana total (α y β-diversidad) entre los grupos. -Hubo diferencias en la abundancia relativa de ciertas bacterias. En culturistas: mayor presencia de <i>Faecalibacterium</i>, <i>Sutterella</i>, <i>Clostridium</i>, <i>Haemophilus</i> y <i>Eisenbergiella</i>; menor abundancia de <i>Bifidobacterium</i> y <i>Parasutterella</i>, que son</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>intestinal: un estudio observacional.</i>		sedentarios como grupo control	mediante un diario de alimentación de 3 días. -Se evaluó su composición corporal mediante DXA (absorciometría de rayos X de doble energía). -Se recolectaron muestras fecales y se analizó la microbiota a través de secuenciación de 16S rRNA.	transversales de los participantes.	bacterias beneficiosas. En corredores de larga distancia: mayor consumo de proteínas se asoció con menor diversidad de microbiota intestinal. Se observó una reducción de bacterias productoras de AGCC, como <i>Blautia wexlerae</i> (<i>B. wexlerae</i>) y <i>Eubacterium halli</i> (<i>E. halli</i>).
Furber, M., et al., (2022)	<i>La estabilidad de la microbiota intestinal se asocia con un mayor rendimiento de resistencia en atletas que realizan periodización dietética</i>	Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, con medidas repetidas.	16 corredores de resistencia altamente entrenados: 8 participantes con dieta alta en proteínas y 8 participantes con dieta alta en HCO.	-Se evaluó el impacto de dos dietas en corredores de resistencia: Dieta alta en proteínas (40% proteínas, 30% HCO, 30% grasas). Dieta alta en HCO (10% proteínas, 60% HCO, 30% grasas). -Se realizaron pruebas de rendimiento físico y análisis de microbiota intestinal	7 días de intervención dietética controlada	-La dieta alta en proteínas redujo la diversidad viral intestinal y alteró la composición de los bacteriófagos, lo que indica un mayor estrés intestinal. -La dieta alta en HCO aumentó la abundancia de <i>Ruminococcus spp.</i> y <i>Collinsella spp.</i> , bacterias relacionadas con la fermentación de carbohidratos. -Los corredores que tuvieron menor variabilidad en su microbiota mostraron un mejor rendimiento deportivo. -Aquellos cuya microbiota intestinal fue más estable experimentaron menos alteraciones metabólicas y mayor capacidad de resistencia. -Se observó que la alteración excesiva de la microbiota intestinal debido a cambios drásticos en la dieta puede afectar negativamente el rendimiento.

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
				<p>antes, durante y después de la intervención. -Se recolectaron muestras fecales y se analizaron bacterias, virus y hongos presentes en el intestino.</p>		
<p>Donati Zeppa, S., et al. (2020)</p>	<p><i>Interacciones mutuas entre el ejercicio, los suplementos deportivos y la microbiota</i></p>	<p>Revisión narrativa de estudios previos</p>	<p>N/A</p>	<p>-Se analizaron estudios previos que investigan la relación entre ejercicio físico, suplementación deportiva y MI. -Se revisaron los efectos de diferentes tipos de ejercicio (resistencia, fuerza) en la diversidad y composición microbiana. -Se evaluaron los impactos de la suplementación con proteínas, aminoácidos, probióticos, polifenoles, omega-3, vitaminas y cafeína en la microbiota y el</p>	<p>N/A</p>	<p>-El ejercicio regular y moderado mejoró la diversidad microbiana y promovió la producción de AGCC, como butirato y propionato, que tienen efectos antiinflamatorios. -El ejercicio de resistencia prolongado aumentó ciertas bacterias como <i>A. muciniphila</i>, <i>Veillonella</i> y <i>F. prausnitzii</i>, que están asociadas con un metabolismo energético más eficiente. -El sobreentrenamiento o el ejercicio de alta intensidad sin una dieta adecuada dañó la barrera intestinal, aumentando la permeabilidad y favoreciendo la inflamación sistémica. -Los probióticos mejoraron la respuesta inmunológica y redujeron la inflamación intestinal en atletas. -Una microbiota equilibrada favorece la eficiencia metabólica y la producción de energía durante el ejercicio. -Se ha observado que ciertas bacterias pueden convertir lactato en propionato, que es utilizado como fuente de energía en el ejercicio de resistencia. -La estabilidad de la microbiota estuvo relacionada con una mejor recuperación muscular y menor inflamación post-ejercicio.</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
				<p>rendimiento deportivo. -Se abordan los efectos negativos del sobreentrenamiento y el estrés inducido por el ejercicio en la salud intestinal.</p>		
<p>Olbricht H., et al., (2022)</p>	<p><i>¿Existe una microbiota universal a los deportistas de resistencia?</i></p>	<p>Meta-análisis de datos de microbiota de cuatro estudios previos utilizando bioinformática estandarizada</p>	<p>-15 corredores del Maratón de Boston -20 corredores del Medio Maratón de Chongqing -33 ciclistas competitivos (divididos en grupos según volumen de entrenamiento: bajo, medio y alto) -10 sujetos sedentarios como grupo control</p>	<p>-Se analizaron los datos de MI de atletas de resistencia en cuatro estudios previos. -Se aplicó secuenciación 16S rRNA y un proceso bioinformático uniforme para detectar diferencias en diversidad, abundancia relativa y asociaciones entre bacterias. -Se realizaron comparaciones antes y después de eventos de resistencia (maratón y medio maratón) y entre ciclistas de distinto</p>	<p>No hubo una intervención directa, sino un análisis retrospectivo de los datos de microbiota obtenidos en diferentes estudios.</p>	<p>-No se encontraron diferencias significativas en la diversidad microbiana total entre atletas de resistencia y controles sedentarios. Algunos estudios reportaron mayor diversidad microbiana en atletas, pero los resultados son inconsistentes. -No se encontró un conjunto universal de bacterias asociado con atletas de resistencia. Solo dos géneros bacterianos (<i>Veillonella</i> y <i>Romboutsia</i>) mostraron diferencias significativas en dos de los cuatro estudios. No hubo un género bacteriano con cambios consistentes en todos los estudios. -En los corredores de maratón, <i>Veillonella</i> aumentó tras la competencia, lo que coincide con estudios previos que sugieren que esta bacteria metaboliza lactato y podría mejorar el rendimiento. No se observaron cambios consistentes en otras bacterias entre los distintos estudios. -No se identificaron patrones consistentes en las asociaciones entre bacterias en los diferentes estudios. -Se detectó una correlación negativa entre <i>Prevotella</i> y <i>Bacteroides</i>, lo que sugiere que la</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
				nivel de entrenamiento.		dieta podría ser un factor clave en la composición de la microbiota.
D'Angelo, S., Donini, L. (2020)	<i>Las relaciones entre la microbiota y el ejercicio físico</i>	Revisión narrativa	N/A	<p>Relación entre ejercicio y MI.</p> <p>-Se revisaron estudios previos que investigan cómo el ejercicio físico impacta la MI y su relación con la salud metabólica, inmunidad y rendimiento deportivo.</p> <p>-Se analizaron los efectos de ejercicio de resistencia y alta intensidad en la composición de la MI.</p> <p>-Se evaluó el impacto del ejercicio sobre permeabilidad intestinal, inflamación y producción de metabolitos clave como los AGCC.</p>	N/A	<p>-El ejercicio regular y moderado mejoró la diversidad microbiana y aumentó la producción de butirato y propionato.</p> <p>-El ejercicio de resistencia puede aumentar ciertas bacterias como <i>Veillonella</i>, <i>A. muciniphila</i> y <i>F. prausnitzii</i>.</p> <p>-El ejercicio de alta intensidad sin recuperación adecuada puede aumentó la permeabilidad intestinal.</p> <p>-Las dietas ricas en fibra favorecieron una microbiota más diversa y resistente a la inflamación, mientras que las dietas altas en proteínas pueden alterar la microbiota y favorecer metabolitos tóxicos.</p> <p>-El estudio señaló que una dieta alta en HCO refinados y baja en fibra puede reducir la diversidad microbiana y afectar negativamente la producción de AGCC.</p>
Grosicki, G., et al., (2019)	<i>Cambios rápidos en el microbioma intestinal de un corredor de</i>	Estudio de caso (investigación observacional)	1 corredor de ultramaratón de elite	Se estudió la MI antes y después de competir en la Western States	21 semanas en observación. 10 días	-Se observó un incremento en la relación Firmicutes/Bacteroidetes, que pasó de 4.4 a 14.2 en solo 2 horas post-carrera.

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>ultramaratón de talla mundial</i>	en un solo sujeto)		<p>Endurance Run (WSER), una carrera de 163 km con 5,486 metros de ascenso y 7,010 metros de descenso.</p> <p>-Se realizaron mediciones de composición corporal, VO₂max, umbral de lactato y economía de carrera.</p> <p>-Se recolectaron muestras fecales (21 semanas antes de la carrera, 2 semanas antes de la carrera, 2 horas después de la carrera, 10 días después de la carrera)</p> <p>-Se utilizaron técnicas de secuenciación 16S rRNA para analizar la MI</p>	seguimiento post-carrera	<p>-Se detectaron incrementos y reducciones significativos en ciertas bacterias tras la ultramaratón: <i>Veillonella</i> + 14,229%, <i>Streptococcus</i> + 438%, <i>Alloprevotella</i> -79%, <i>Subdoligranulum</i> -50%.</p> <p>-<i>Veillonella</i>, una bacteria capaz de metabolizar lactato en propionato (un sustrato energético clave), mostró un aumento masivo tras la carrera.</p> <p>-Se observaron aumentos en bacterias proinflamatorias como <i>Haemophilus</i> y <i>Streptococcus</i>, lo que podría sugerir un mayor riesgo de inflamación intestinal.</p> <p>-No se reportaron síntomas gastrointestinales graves a pesar de estos cambios.</p>
Chen, Y., et al., (2024)	<i>Patrones dietéticos, microbiota intestinal y rendimiento</i>	Revisión narrativa	N/A	-Se revisaron estudios previos sobre cómo los patrones dietéticos influyen en la MI y	N/A	<p>-La MI es clave en procesos metabólicos, función inmunitaria y salud general de los atletas.</p> <p>-El ejercicio regular y moderado aumenta la diversidad microbiana y favorece el crecimiento</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>deportivo en atletas: una revisión narrativa</i>			<p>el rendimiento deportivo en atletas.</p> <p>-Se analizaron los efectos de diferentes tipos de dieta en la composición y diversidad de la microbiota: (dieta cetogénica, dieta basada en plantas, dieta alta en proteínas, dieta mediterránea, dieta alta en HCO.</p> <p>-Se exploraron los mecanismos a través de los cuales la MI podría actuar como mediadora entre la dieta y el rendimiento deportivo.</p>		<p>de bacterias beneficiosas como <i>A. muciniphila</i>, <i>Prevotella</i> y <i>Veillonella</i>.</p> <p>-La MI puede influir en el rendimiento al modular el metabolismo de HCO, grasas y aminoácidos.</p> <p>-El exceso de HCO simples puede alterar la microbiota y reducir su diversidad.</p>
Kulecka, M., et al. (2020)	<i>La composición y riqueza de la microbiota intestinal diferencian a los principales atletas de resistencia polacos de los</i>	Estudio observacional comparativo	<p>-14 maratonistas.</p> <p>-11 esquiadores de fondo.</p> <p>-46 individuos sedentarios como grupo control.</p>	<p>-Se comparó la MI de maratonistas, esquiadores de fondo y sujetos sedentarios.</p> <p>-Se recolectaron muestras fecales y se analizaron mediante secuenciación 16S</p>	No hubo intervención dietética o de entrenamiento, solo se analizaron los datos transversales de los participantes.	<p>-Se identificaron 20 taxones bacterianos que diferenciaban a los maratonistas de los controles y 5 taxones que diferenciaban a los esquiadores de fondo de los controles.</p> <p>-Los atletas presentaban una menor abundancia de <i>Bacteroidetes</i> y una mayor abundancia de <i>Prevotella</i> en comparación con los sedentarios.</p> <p>-Se encontraron 31 correlaciones significativas entre la abundancia bacteriana y la dieta.</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
	<i>controles sedentarios</i>			<p>rRNA para determinar la diversidad y composición microbiana.</p> <p>-Se evaluaron hábitos dietéticos mediante un registro de 24 horas.</p>		<p>-La abundancia de <i>Prevotella</i> mostró una correlación inversa con el consumo de sacarosa, lo que sugiere que el alto consumo de azúcar podría reducir la presencia de estas bacterias beneficiosas.</p> <p>-<i>Christensenellaceae</i> se correlacionó positivamente con la ingesta de ácido fólico, mientras que <i>Agathobacter</i> se correlacionó con la ingesta de fibra.</p>
Campaniello, D., et al. (2022)	<i>Cómo la dieta y la actividad física modulan la microbiota intestinal: Evidencia y perspectiva</i>	Revisión narrativa	N/A	<p>-Se revisaron estudios previos sobre el impacto de la dieta y la actividad física en la MI.</p> <p>-Se analizaron los efectos de diferentes tipos de dieta en la composición microbiana: dieta occidental (alta en azúcares y grasas), dieta cetogénica, dieta vegana, dieta sin gluten, dieta mediterránea.</p> <p>-Se exploraron los efectos del ejercicio físico en la microbiota (de resistencia,</p>	N/A	<p>-La dieta resultó un factor clave en la modulación de la MI.</p> <p>-La dieta occidental (alta en azúcares y grasas saturadas) se asoció con disbiosis, caracterizada por: reducción de bacterias beneficiosas (<i>F. prausnitzii</i>), aumento de bacterias proinflamatorias (<i>Proteobacteria</i>, <i>Enterobacteriaceae</i>).</p> <p>-La dieta mediterránea favoreció una microbiota más diversa y saludable, con un aumento de <i>Bifidobacterium</i> y <i>Lactobacillus</i>.</p> <p>-El consumo elevado de fibra mejoró la producción de AGCC.</p> <p>-El ejercicio de resistencia y aeróbico favoreció el crecimiento de bacterias beneficiosas, como <i>A. muciniphila</i> y <i>Veillonella</i>.</p> <p>-El ejercicio de alta intensidad aumentó la permeabilidad intestinal y favorecer la inflamación si no se acompaña de una dieta adecuada.</p> <p>-Los atletas de resistencia presentaron una MI más diversa en comparación con personas sedentarias, pero la composición específica varía según la dieta.</p>

Tabla 8: Gráfica descriptiva de la bibliografía analizada

Autor y año	Título	Tipo de estudio	Número de participantes	Intervención	Duración	Resultados
				aeróbico, de alta intensidad)		
Bishu, S. & Kao, J. (2024)	<i>Un paso más cerca de comprender cómo una dieta alta en carbohidratos simples puede causar disbiosis.</i>	Revisión narrativa	N/A	<p>-Se revisaron estudios previos que investigan la relación entre el consumo de HCO y la disbiosis intestinal.</p> <p>-Se analizó el papel de los patobiontes intestinales, <i>K. pneumoniae</i>, en el desarrollo de disbiosis y EII.</p> <p>-Se examinaron modelos experimentales en ratones y estudios en humanos que evaluaron la influencia de dietas altas en azúcares simples sobre la MI.</p>	N/A	<p>-El consumo elevado de HCO simples se vinculó con un aumento en la abundancia de patobiontes, como <i>K. pneumoniae</i></p> <p>-Se observó que la proliferación de <i>K. pneumoniae</i> está favorecida por la disponibilidad de HCO simples en el colon, mientras que las dietas ricas en fibra protegen contra su crecimiento.</p> <p>-Los estudios en ratones demostraron que una dieta sin fibra promueve la expansión de <i>K. pneumoniae</i> tras un desequilibrio ecológico en la microbiota.</p> <p>-Se ha observado que la MI de individuos con dietas altas en azúcares simples muestra una menor diversidad bacteriana y un aumento de bacterias proinflamatorias.</p> <p>-En modelos animales, el consumo de azúcares refinados provocó disbiosis y exacerbó la inflamación intestinal en ratones con predisposición genética a EII.</p> <p>-En estudios epidemiológicos, el aumento en el consumo de azúcar ha sido correlacionado con un mayor riesgo de EII.</p> <p>-La disbiosis inducida por azúcares simples está asociada con un aumento en la permeabilidad intestinal, lo que puede contribuir a la inflamación sistémica.</p> <p>-Se encontró que dietas bajas en fibra aumentan la susceptibilidad a infecciones intestinales, lo que resalta la importancia de un equilibrio en la ingesta de HCO.</p>

5.3.1. Análisis de resultados según objetivos específicos

A continuación, se analizan los resultados obtenidos a partir de los 35 estudios seleccionados para esta revisión, organizados según los objetivos específicos planteados. Se identificaron patrones comunes, contradicciones y hallazgos clave que permiten establecer conexiones entre el consumo de azúcares simples y los efectos en la microbiota intestinal en corredores de larga distancia y así analizar la evidencia científica disponible.

5.3.1.1. Resultados según el objetivo específico #1: Evaluar la evidencia científica disponible sobre el consumo de azúcares simples y su influencia en la microbiota intestinal

Diversos estudios incluidos en esta revisión han demostrado que el consumo elevado de azúcares simples, como la glucosa, fructosa y sacarosa, se asocia con efectos negativos sobre la microbiota intestinal, tanto en humanos como en modelos animales. Por ejemplo, Fajstova et al. (2020) observó un aumento en la permeabilidad intestinal tras dietas con alta carga de glucosa.

Uno de los hallazgos más consistentes fue la reducción de la diversidad bacteriana, un marcador clave de una microbiota sana. Investigaciones como la de Zheng et al. (2024) y García et al. (2022) reportaron una disminución de bacterias beneficiosas y un aumento de microorganismos patógenos, como *E. coli*, junto con alteraciones proinflamatorias que incluyen la producción reducida de AGCC, esenciales para mantener la integridad intestinal.

Estudios como los de Fajstova et al. (2020) y Kawano et al. (2022) mostraron que en ratones alimentados con dietas ricas en azúcares simples, hubo una notable disbiosis, acompañada de aumento de citoquinas inflamatorias (IL-6, TNF- α) y pérdida de bacterias inmunoprotectoras. En humanos, Beam et al. (2021) y Alam et al. (2022) vincularon el consumo de azúcar con disbiosis intestinal, reducción de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, y una mayor incidencia de enfermedades metabólicas e inflamatorias. Por otro lado, estudios como el de Bishu y Kao (2024) remarcan que el exceso de azúcares refinados puede promover el crecimiento de bacterias patógenas como *K. pneumoniae*, asociadas a enfermedades inflamatorias intestinales.

En suma, la evidencia recopilada entre 2018 y 2024 refuerza que el consumo habitual de azúcares simples altera negativamente la microbiota intestinal, disminuye su diversidad, favorece la inflamación sistémica y debilita la función inmunológica. Esta información es clave para comprender las implicancias de las estrategias nutricionales en la salud intestinal de la población en general y de los atletas en particular.

5.3.1.2. *Resultados según el objetivo específico #2: Analizar los efectos que las estrategias nutricionales altas en azúcares simples tienen sobre la microbiota intestinal en corredores de larga distancia*

Diversos estudios incluidos en esta revisión evidencian que las estrategias nutricionales basadas en un alto consumo de azúcares simples tienen implicancias negativas en la composición y diversidad de la microbiota intestinal de los corredores de larga distancia. Este tipo de intervención dietética, si bien es común durante eventos prolongados por su capacidad de proporcionar energía rápida (glucosa, fructosa y sacarosa), ha mostrado efectos adversos en la estabilidad microbiana intestinal.

Grosicki et al. (2019), en un estudio de caso con un corredor de ultramaratón, observaron un incremento masivo de bacterias como *Veillonella* (+14.229%) tras la carrera, lo cual se asoció positivamente al rendimiento, ya que esta bacteria metaboliza lactato en propionato. Sin embargo, también se detectaron aumentos significativos en bacterias proinflamatorias como *Streptococcus* (+438%) y *Haemophilus*, así como una marcada disminución de *Alloprevotella* (-79%) y *Subdoligranulum* (-50%), ambas productoras de butirato. Estos resultados sugieren que el uso excesivo de HCO simples puede favorecer una disbiosis después de la competencia.

Sato y Suzuki (2022) confirmaron hallazgos similares en corredores de ultramaratón, identificando una reducción significativa de bacterias como *F. prausnitzii*, asociadas a efectos antiinflamatorios, luego de eventos de alta demanda energética, lo cual refuerza la hipótesis del desequilibrio generado por estas estrategias nutricionales intensivas.

Desde un enfoque experimental, Fajstova et al. (2020) y Kawano et al. (2022) demostraron que dietas altas en azúcares simples promovieron la proliferación de bacterias patógenas como *E. coli*, *Candida albicans* y *F. rodentium* en modelos

animales. Estos cambios estuvieron asociados con aumentos en la permeabilidad intestinal, activación del sistema inmune y respuesta proinflamatoria sistémica, lo cual extrapolado a atletas de resistencia puede traducirse en menor capacidad de recuperación, riesgo de inflamación crónica y alteración en la absorción de nutrientes clave.

En estudios humanos, García et al. (2022) y Rackerby et al. (2020) reforzaron estos resultados al vincular el consumo elevado de glucosa, fructosa y sacarosa con una disminución de la diversidad bacteriana, aumento de marcadores proinflamatorios como IL-6 y TNF- α , y reducción en la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), fundamentales para mantener la integridad de la barrera intestinal.

Por último, Bishu & Kao (2024) reportaron que las dietas altas en HCO simples favorecen el crecimiento de *K. pneumoniae*, patobionte vinculado con disbiosis, inflamación intestinal y EII, especialmente en ausencia de fibra.

5.3.1.3. Resultados según el objetivo específico #3: Interpretar la literatura científica que analiza la microbiota intestinal de estos atletas

La evidencia analizada demuestra que los corredores de larga distancia presentan una MI distintiva en comparación con individuos sedentarios, tanto en diversidad como en composición bacteriana. Varios estudios observacionales y revisiones narrativas destacaron que los atletas de resistencia tienen una mayor abundancia de bacterias como *Veillonella*, *A. muciniphila* y *Prevotella*, las cuales están relacionadas con funciones metabólicas eficientes, producción de AGCC y mejor aprovechamiento energético durante el ejercicio (Chen et al., 2024; Donati Zeppa et al., 2020; Campaniello et al., 2022). Mohr et al. (2020) y Duan et al. (2024) mostraron que los corredores tienen más bacterias relacionadas con el metabolismo energético (*Ruminococcus*, *Coprococcus*).

En estudios como el de Sato y Suzuki (2022), se reportó que tras una competencia de ultramaratón se observaron alteraciones específicas en la microbiota de los atletas, como la disminución de *F. prausnitzii* —productora de butirato— y el aumento de bacterias como *Collinsella* y *Catenibacillus*. Por su parte, Grosicki et al. (2019) identificaron un incremento masivo de *Veillonella* (+14.229%) tras una carrera, apoyando su rol en la metabolización del lactato en propionato, lo cual sugiere una posible ventaja energética para los corredores. Sin embargo, la dieta rica en azúcares

simples, según Jang et al. (2019), se vinculó con menor diversidad y una reducción de bacterias productoras de AGCC como *E. halli*.

Lin et al. (2020) demostró que la suplementación con *B. longum* contrarresta algunos efectos inflamatorios, mejorando rendimiento y composición microbiana. Barcerá, I. (2023) afirma que probióticos y prebióticos alteran favorablemente la MI. Esto puede abrir una ventana de intervención para el uso de probióticos en el deporte de resistencia.

En cuanto a la diversidad, estudios como los de Mohr et al. (2020) y Cella et al. (2021) respaldan que el ejercicio de resistencia favorece una comunidad microbiana más diversa, mientras que otros como Olbricht et al. (2022) concluyen que no hay un perfil microbiano universal en atletas de resistencia, sino una variabilidad interindividual influenciada por factores dietéticos y de entrenamiento.

Finalmente, la literatura destaca que si bien la actividad física puede promover una microbiota saludable, la alimentación cumple un papel crucial. Por ejemplo, Furber et al. (2022) demostraron que los corredores con mayor estabilidad en su MI durante intervenciones dietéticas mostraron mejor rendimiento y menor impacto metabólico negativo, evidenciando la estrecha relación entre dieta, microbiota y desempeño deportivo.

5.3.1.4. *Resultados según el objetivo específico #4: Comparar los efectos en la microbiota intestinal de una dieta basada en azúcares simples con una rica en hidratos de carbono complejos*

Al comparar el impacto de una dieta basada en azúcares simples frente a una dieta rica en HC complejos, los estudios revisados presentan resultados consistentes que reflejan importantes diferencias en la composición y diversidad de la microbiota intestinal.

Por un lado, los azúcares simples (como glucosa, fructosa y sacarosa) tienden a ser absorbidos rápidamente en el intestino delgado, dejando escaso material fermentable para las bacterias del colon. Esta condición se ha asociado con una disminución en la diversidad microbiana y un aumento de bacterias proinflamatorias o patógenas, tales como *E. coli*, *Streptococcus*, *Haemophilus* y *K. pneumoniae* (Zheng et al., 2024; García et al., 2022; Bishu & Kao, 2024; Grosicki et al., 2019). Además, se ha observado una reducción en bacterias beneficiosas productoras de AGCC, como *Roseburia* y *F. prausnitzii*, y en la síntesis de butirato, propionato y acetato,

fundamentales para la salud intestinal (Chen et al., 2024; Sato & Suzuki, 2022; Rackerby et al., 2020).

En contraste, las dietas ricas en hidratos de carbono complejos y fibra dietética han demostrado promover una mayor diversidad y abundancia de bacterias beneficiosas, incluyendo *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *A. muciniphila*, *Prevotella*, *Ruminococcus* y *F. prausnitzii* (Zong et al., 2024; Cronin et al., 2021; Mora-Flores et al., 2023; Nova et al., 2022). Estas bacterias fermentan los HCO no digeribles y producen AGCC con propiedades antiinflamatorias y efectos positivos sobre la integridad de la barrera intestinal. Campaniello et al. (2022) recomendó priorizar dietas mediterráneas ricas en HCO complejos para mantener la diversidad microbiana.

De manera complementaria, estudios como los de Zheng et al. (2024) y Coker et al. (2021) han señalado que el consumo excesivo de HCO simples se asocia con el desarrollo de enfermedades metabólicas, mientras que la fibra dietética y los HCO complejos favorecen la homeostasis inmunológica.

Por lo tanto, la evidencia recopilada sugiere que, si bien los azúcares simples pueden cumplir un rol funcional en el rendimiento deportivo inmediato, su consumo prolongado y en exceso podría comprometer la salud intestinal, mientras que una dieta rica en HCO complejos no solo preserva la diversidad microbiana, sino que contribuye activamente al equilibrio intestinal, la regulación inflamatoria y la prevención de enfermedades crónicas.

5.3.1.5. *Resultados según el objetivo específico #5: Establecer una relación entre las estrategias nutricionales utilizadas por los corredores de larga distancia y las modificaciones en su microbiota intestinal.*

La revisión de la literatura muestra que las estrategias nutricionales empleadas por los corredores de larga distancia tienen un impacto directo sobre la composición y funcionalidad de la microbiota intestinal. La mayoría de los estudios consultados coinciden en que la dieta, más allá del ejercicio físico, actúa como un modulador clave de la microbiota intestinal (Chen et al., 2024; Campaniello et al., 2022; Barcerá, 2023).

En particular, las dietas ricas en azúcares simples utilizadas como fuente rápida de energía durante la actividad física han sido relacionadas con una disminución en la diversidad bacteriana y un aumento de bacterias proinflamatorias como *E. coli*, *Streptococcus*, y *K. pneumoniae* (García et al., 2022; Bishu & Kao, 2024). Estas alteraciones se vinculan con un mayor riesgo de disbiosis y una mayor permeabilidad

intestinal, lo que compromete la integridad de la barrera epitelial y puede influir negativamente en la recuperación y salud general del atleta (Grosicki et al., 2019; Al Bander et al., 2020).

A su vez, estrategias basadas en el consumo predominante de hidratos de carbono complejos y fibra muestran un efecto protector, favoreciendo el crecimiento de bacterias como *A. muciniphila*, *F. prausnitzii*, *Roseburia* y *Prevotella*, asociadas a una mejor capacidad de fermentación, producción de AGCC y una respuesta inflamatoria más equilibrada (Cronin et al., 2021; Cella et al., 2021; Zong et al., 2024). Los estudios analizados indican que la periodización nutricional y la inclusión de fibra o probióticos pueden mitigar los efectos negativos del consumo de azúcares simples.

El estudio de Furber et al. (2022) demostró que los corredores con una microbiota más estable y con menor variabilidad –condición influenciada por la dieta previa y durante la competencia– tuvieron un mejor rendimiento y menor impacto metabólico. En línea con esto, la revisión de Donati Zeppa et al. (2020) destaca que estrategias nutricionales equilibradas que incluyen prebióticos y probióticos naturales (como fibra fermentable, polifenoles y alimentos fermentados), promueven una microbiota más resiliente ante el estrés físico.

Finalmente, estudios como los de Lin et al. (2020) y Morita et al. (2023) evidencian que incluso la suplementación específica con cepas probióticas como *B. longum* o *B. uniformis*, en combinación con estrategias dietéticas adaptadas, pueden optimizar el perfil microbiano intestinal y mejorar parámetros de rendimiento, como la capacidad aeróbica y la eficiencia energética.

En síntesis, los estudios analizados coinciden en que las estrategias nutricionales ricas en azúcares simples, aunque útiles para sostener el rendimiento en el corto plazo, pueden comprometer la estabilidad y diversidad de la microbiota intestinal en corredores de larga distancia. Esta alteración podría traducirse en una menor producción de AGCC, aumento de la permeabilidad intestinal, inflamación sistémica y reducción del rendimiento físico si no son acompañadas por una dieta rica en fibra y alimentos prebióticos.

En conjunto, los estudios analizados muestran que si bien los azúcares simples tienen un rol ergogénico importante, su consumo crónico o mal planificado puede afectar negativamente la microbiota intestinal. Esto refuerza la necesidad de abordar el uso de hidratos simples con criterios de cantidad, momento y combinación

alimentaria. La evidencia destaca la importancia del equilibrio con fibra dietaria y otros componentes protectores para sostener la salud intestinal en atletas de resistencia.

6. DISCUSIÓN

El consumo de HCO simples, como la glucosa y la fructosa, es una estrategia común entre los corredores de larga distancia para mantener niveles estables de energía y prevenir la fatiga. Estos se absorben rápidamente y proporcionan energía inmediata, lo cual es fundamental en eventos prolongados como maratones y ultramaratones. En este sentido, los azúcares simples pueden tener un impacto en la MI debido a su interacción con los microorganismos del intestino.

En base a la revisión de los estudios analizados, las discusiones principales sobre la relación y el impacto de los azúcares simples en la MI de los corredores de larga distancia se centran en los siguientes puntos clave:

1. Efectos de los azúcares simples en la diversidad microbiana
2. Producción insuficiente de ácidos grasos de cadena corta
3. Aumento de la permeabilidad intestinal y riesgo de inflamación
4. Comparación con el impacto de los hidratos de carbono complejos y la fibra
5. Consecuencias a largo plazo del consumo elevado de azúcares simples

6.1. Efectos de los azúcares simples en la diversidad microbiana

6.1.1. Disminución de la diversidad microbiana

Los estudios revisados indican que el consumo frecuente de azúcares simples en corredores puede reducir la diversidad bacteriana en la MI de los corredores. A diferencia de los carbohidratos complejos y las fibras, los azúcares simples son absorbidos rápidamente en el intestino delgado, dejando pocas oportunidades para que lleguen al colon y sean fermentados por las bacterias intestinales beneficiosas. La falta de estos sustratos limita la diversidad de bacterias, que es crucial para una MI saludable y resistente. Por otro lado, bacterias beneficiosas como *Roseburia*, que están asociadas con la producción de butirato (un AGCC crucial para la salud intestinal) pueden disminuir en presencia de una dieta rica en HCO simples (Chen et al., 2024).

6.1.2. Alteraciones en géneros bacterianos específicos

Aunque los azúcares simples son beneficiosos para el rendimiento inmediato, también se demostró que aumentaban las bacterias potencialmente patógenas, como *Streptococcus* (+438%) y *Haemophilus* (29 veces más), después de realizar una carrera (Grosicki et al., 2019). El exceso de azúcares simples puede promover el crecimiento de estas bacterias, que están asociadas con infecciones y disbiosis. La reducción de bacterias beneficiosas como *Subdoligranulum* (-50%) y *Alloprevotella* (-79%), que son productores de butirato y otros AGCC, podría debilitar la integridad de la barrera intestinal y aumentar la inflamación (Grosicki et al., 2019). Según esta misma revisión, el consumo elevado de HCO simples también puede afectar el crecimiento de bacterias como *Anaerostipes*, que tienden a aumentar tras la ingesta de HCO simples en comparación con HCO no refinados.

6.2. Producción insuficiente de ácidos grasos de cadena corta

6.2.1. Ácidos grasos de cadena corta y salud intestinal

La disminución de la diversidad mencionada anteriormente, también, está relacionada con la menor producción de AGCC, compuestos clave para la salud intestinal que se generan a partir de la fermentación de fibras dietéticas no digeribles, no presentes en grandes cantidades en las dietas ricas en HCO simples (Chen et al., 2024). La producción de AGCC (como el butirato y el propionato) es esencial para mantener la salud intestinal y reducir la inflamación. Sin embargo, la rápida absorción de los azúcares simples reduce la cantidad de sustratos fermentables en el colon, lo que resulta en una menor producción de AGCC (Cella et al., 2021). Esto puede llevar a una menor protección contra la inflamación y a una mayor susceptibilidad al daño intestinal, especialmente en momentos de esfuerzo físico extremo, como en las competencias de larga distancia (Zong et al., 2024b) (Campaniello et al., 2022) (Sato, M. & Suzuki, ., 2022). La reducción en bacterias productoras de butirato podría comprometer la salud intestinal a largo plazo.

Entonces, se entiende que el consumo frecuente de HCO simples, común en atletas para mejorar el rendimiento durante competiciones, podría contribuir a una disbiosis intestinal si no se equilibra con la ingesta de fibra. Esto se debe a que los azúcares simples no son fermentados por las bacterias intestinales, lo que reduce la

producción de AGCC pudiendo aumentar así la permeabilidad intestinal (Rackerby et al., 2020).

6.2.2. *Impacto en la función inmunológica*

La falta de AGCC, como el butirato, también afecta negativamente la función inmunológica de los corredores, ya que estos metabolitos juegan un rol importante en la modulación de la respuesta inmune y la integridad de la barrera intestinal. Aunque algunos de los estudios revisados se centran en los HCO no digeribles, pueden proporcionar un contraste útil al impacto de los azúcares simples. A diferencia de las fibras, los azúcares simples son absorbidos rápidamente y no llegan al colon para ser fermentados por la MI. Esto limita la producción de AGCC, como el butirato, que son esenciales para mantener la salud intestinal y regular la inflamación. En corredores de larga distancia, el consumo elevado de azúcares simples, sin un balance adecuado de fibras, podría promover una disbiosis intestinal, reduciendo la diversidad microbiana y afectando negativamente la capacidad de recuperación y la salud general (Zong et al., 2024b).

6.3. **Aumento de la permeabilidad intestinal y riesgo de inflamación**

6.3.1. *"Intestino permeable" y azúcares simples*

Los estudios sugieren que el consumo excesivo de azúcares simples puede dañar las uniones estrechas del epitelio intestinal, lo que lleva a una mayor permeabilidad intestinal (conocida como "intestino permeable"). Esto permite que las endotoxinas bacterianas, como los LPS, ingresen al torrente sanguíneo, activando respuestas inflamatorias que pueden afectar el rendimiento y la recuperación en corredores de larga distancia (Bander et al., 2020).

6.3.2. *Respuesta inflamatoria sistémica*

Los corredores que experimentan estos efectos pueden sufrir una mayor inflamación post-ejercicio, lo que complica la recuperación y puede llevar a un mayor riesgo de lesión o enfermedad (Cella et al., 2021; Rackerby et al., 2020).

6.4. Comparación con el impacto de los hidratos de carbono complejos y la fibra

6.4.1. Rol de los hidratos de carbono complejos

Varios estudios en la revisión resaltan la importancia de equilibrar los azúcares simples con HCO complejos y fibra dietética, ya que estos últimos promueven una MI más diversa y resistente. La fibra alimentaria, a diferencia de los azúcares simples, llega al colon y es fermentada por bacterias beneficiosas que producen AGCC, apoyando así la salud intestinal y reduciendo el riesgo de inflamación crónica (Cella et al., 2021) (Cronin et al., 2021).

6.5. Consecuencias a largo plazo del consumo elevado de azúcares simples

6.5.1. Riesgo de disbiosis crónica

Aunque los corredores de larga distancia requieren HCO para mejorar el rendimiento, el uso excesivo de fructosa podría contribuir a la disbiosis y aumentar la inflamación intestinal, afectando su salud a largo plazo (Alam et al., 2022). La exposición prolongada a una dieta alta en azúcares simples puede llevar a una disbiosis persistente, caracterizada por un desequilibrio en las poblaciones bacterianas beneficiosas y potencialmente patógenas. Esta disbiosis podría aumentar el riesgo de condiciones inflamatorias y metabólicas, comprometiendo no solo el rendimiento, sino también la salud general de los corredores (Vázquez et al., 2021). El desequilibrio microbiano resultante podría traducirse en un rendimiento subóptimo debido a una menor absorción de nutrientes, una respuesta inmunológica debilitada y una recuperación deficiente tras los entrenamientos y competiciones (Cella et al., 2021; Fajstova et al., 2020).

7. CONCLUSIÓN

El presente trabajo permitió reflexionar críticamente sobre la relación entre la microbiota intestinal y la nutrición en corredores de resistencia. A lo largo del proceso de revisión, se analizaron múltiples estudios que aportaron información clave para comprender el impacto de la alimentación sobre la salud intestinal, más allá del rendimiento deportivo inmediato.

El consumo frecuente de azúcares simples en corredores de larga distancia continúa siendo un tema de debate, y esta revisión evidenció que dicha ingesta puede generar alteraciones relevantes en la composición y diversidad de la microbiota intestinal. La reducción de bacterias beneficiosas y el aumento de especies proinflamatorias pueden comprometer tanto la integridad de la barrera intestinal como el metabolismo energético del deportista. No obstante, los hidratos de carbono de rápida absorción siguen representando un recurso valioso en contextos de alta demanda energética, especialmente en esfuerzos prolongados. El punto clave radica en la dosificación, la calidad y el momento de ingesta, así como en su combinación con otros alimentos que favorezcan el equilibrio intestinal.

La evidencia científica analizada sugiere que el exceso de azúcares simples altera la microbiota intestinal, favoreciendo la disbiosis e incrementando el riesgo de inflamación intestinal. En este sentido, resulta fundamental contemplar no solo las necesidades energéticas inmediatas de los atletas, sino también el impacto que los hábitos alimentarios tienen sobre su salud intestinal a largo plazo.

Respecto al análisis de estrategias nutricionales altas en azúcares simples, si bien estas aportan una vía efectiva para la reposición energética durante la competencia, su abuso puede comprometer la estabilidad de la microbiota. Se concluye que el equilibrio es esencial: una estrategia nutricional adecuada no solo busca energía rápida, sino también preservar la salud intestinal del atleta. La combinación con alimentos ricos en fibra y polifenoles aparece como una alternativa útil para mitigar los efectos negativos de los azúcares simples.

Si de interpretar la literatura científica que analiza la microbiota intestinal de los corredores de larga distancia se trata, los estudios revisados también demostraron que los atletas de resistencia presentan una microbiota distinta a la de personas sedentarias, con perfiles bacterianos que podrían asociarse a una mayor eficiencia metabólica durante el ejercicio. Resulta relevante destacar el rol de bacterias como

Veillonella y *Prevotella*, cuya modulación a través de la alimentación abre nuevas oportunidades de intervención en el ámbito deportivo. Como profesional de la salud, esto puede llevar a pensar en el impacto de la alimentación en la modulación de estas bacterias y en cómo podría utilizarse estratégicamente para mejorar el rendimiento deportivo.

Al comparar los efectos de una dieta rica en azúcares simples con una basada en hidratos de carbono complejos, la diferencia resultó evidente: mientras que los primeros pueden inducir desequilibrios en la microbiota, los segundos promueven la producción de ácidos grasos de cadena corta, favoreciendo un ecosistema intestinal más diverso y funcional. Esta información respalda la necesidad de la importancia de diseñar planes nutricionales que no solo optimicen el rendimiento deportivo, sino que también preserven la salud intestinal del atleta en el tiempo.

Finalmente, al establecer la relación entre las estrategias nutricionales utilizadas por los corredores de larga distancia y las modificaciones observadas en su microbiota, se concluye que la alimentación debe ser personalizada y adaptada a las características individuales del deportista. Aquellos que incorporan fuentes variadas de hidratos de carbono, junto con alimentos prebióticos y probióticos naturales, tienden a mantener una microbiota más estable y resistente a la inflamación.

La nutrición en deportes de resistencia no se limita al conteo de kilocalorías o macronutrientes, sino que debe abordarse desde una perspectiva integral, considerando a la salud intestinal como un pilar fundamental del rendimiento y la recuperación. En base a la evidencia revisada, se sostiene que los azúcares simples pueden ser herramientas útiles, pero su uso debe ser planificado y acompañado de una dieta que promueva la diversidad microbiana. La ciencia ha demostrado que una microbiota saludable impacta no solo en la digestión, sino también en la inmunidad, la inflamación y la resistencia física.

En conclusión, este trabajo refuerza el valor de la educación nutricional en el ámbito deportivo, recordando que optimizar la salud a largo plazo debe ser tan prioritario como alcanzar un buen rendimiento físico.

8. ANEXOS

8.1. Esquema Pregunta PICO

Estructurada o formato PICO

P	Paciente o pacientes: tipo o características de un paciente como el nuestro.	
I	Intervención: intervención o exposición considerada.	
C	Comparación: intervención o exposición alternativa (si procede).	
O	Desenlaces (Outcomes): resultados o desenlaces.	

8.2. Anexo II. Escala de PEDro

1. Los criterios de elección fueron especificados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
2. Los sujetos fueron asignados al azar a los grupos (en un estudio cruzado, los sujetos fueron distribuidos aleatoriamente a medida que recibían los tratamientos)	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
3. La asignación fue oculta	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
4. Los grupos fueron similares al inicio en relación a los indicadores de pronóstico más importantes	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
5. Todos los sujetos fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
6. Todos los terapeutas que administraron la terapia fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
7. Todos los evaluadores que midieron al menos un resultado clave fueron cegados	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
8. Las medidas de al menos uno de los resultados clave fueron obtenidas de más del 85% de los sujetos inicialmente asignados a los grupos	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
9. Se presentaron resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para al menos un resultado clave fueron analizados por "intención de tratar"	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
10. Los resultados de comparaciones estadísticas entre grupos fueron informados para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:
11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para al menos un resultado clave	no <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> donde:

9. BIBLIOGRAFÍA

- Agus, A., et al. (2022). Microbiota imbalance induced by dietary sugar disrupts immune-mediated protection from metabolic syndrome. *Cell*, 185(18), 3501-3514.e20.
- Alam, Y. H., Kim, R., & Jang, C. (2022). Metabolism and Health Impacts of Dietary Sugars. *Journal of Lipid and Atherosclerosis*, 11(1), 20-38. <https://doi.org/10.12997/jla.2022.11.1.20>
- Albenberg, L. G., & Wu, G. D. (2014). Diet and the intestinal microbiome: associations, functions, and implications for health and disease. *Gastroenterology*, 146(6), 1564-1572.
- Álvarez, J., Manuel Fernández Real, J., Guarner, F., Gueimonde, M., Rodríguez, J. M., Saenz De Pipaon, M., & Sanz, Y. (2022). Gastroenterología y Hepatología Gut microbes and health. In *Gastroenterología y Hepatología* (Vol. 44). www.elsevier.es/gastroenterologia
- Angel Eladio Caballero Torres, Yumy Estela Fernández Vélez, & Jenny Caballero Barrios. (2023). ¿Por qué debemos promover la protección de microbiota intestinal? *FACSalud*, 04–14.
- Angelo, S. D. (n.d.). *The relationships between microbiota and exercise*. <https://www.researchgate.net/publication/347258438>
- Areta, J. L., & Phillips, S. M. (2021). Strategies to enhance muscle protein synthesis during recovery from exercise. *Sports Medicine*, 51(1), 1–12.
- Baar, K., Braun, H., Broad, E., Burke, L., Cox, G., Gleeson, M., Halson, S. L., Hawley, J., Jeukendrup, A., Maughan, R., Meeusen, R., Mettler, S., Nieman, D. C., Pfeiffer, B., Phillips, S., Ruby, B. C., Saltin, B., Stelligwerff, T., Tarnopolsky, M., ... Watson, P. (2010). *Sports Nutrition. From lab to Kitchen de Asker Jeukendrup*.

- Bander, Z. Al, Nitert, M. D., Mousa, A., & Naderpoor, N. (2020). The gut microbiota and inflammation: An overview. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 17, Issue 20, pp. 1–22). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph17207618>
- Beals, K. A., et al. (2017). The pre-exercise ingestion of bananas vs. a commercial sports drink and its impact on endurance performance in male athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 14(1), 1-6.
- Beam, A., Clinger, E., & Hao, L. (2021). Effect of diet and dietary components on the composition of the gut microbiota. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu13082795>
- Belkaid, Y., & Hand, T. W. (2014). Role of the microbiota in immunity and inflammation. *Cell*, 157(1), 121-141.
- Bishu, S., & Kao, J. Y. (2024). A step closer to understanding how a diet high in simple carbohydrates may cause dysbiosis. *Gut Microbes*, 16(1), e2164329.
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 29(sup1), S17-S27.
- Burke, L. M., van Loon, L. J. C., & Hawley, J. A. (2017). Postexercise muscle glycogen resynthesis in humans. *Journal of Applied Physiology*, 122(5), 1055-1067. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00860.2016>
- Campaniello, D., Corbo, M. R., Sinigaglia, M., Speranza, B., Racioppo, A., Altieri, C., & Bevilacqua, A. (2022). How Diet and Physical Activity Modulate Gut Microbiota: Evidence, and Perspectives. In *Nutrients* (Vol. 14, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/nu14122456>
- Cella, V., Bimonte, V. M., Sabato, C., Paoli, A., Baldari, C., Campanella, M., Lenzi, A., Ferretti, E., & Migliaccio, S. (2021). Nutrition and physical activity-induced changes in gut microbiota: Possible implications for human health and athletic performance. In *Foods* (Vol. 10, Issue 12). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods10123075>

- Cermak, N. M., & Van Loon, L. J. C. (2013). The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. In *Sports Medicine* (Vol. 43, Issue 11, pp. 1139–1155). <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0079-0>
- Chen, Y., Yang, K., Xu, M., Zhang, Y., Weng, X., Luo, J., Li, Y., & Mao, Y. H. (2024). Dietary Patterns, Gut Microbiota and Sports Performance in Athletes: A Narrative Review. In *Nutrients* (Vol. 16, Issue 11). <https://doi.org/10.3390/nu16111634>
- Chevront, S. N., Carter, R., & Sawka, M. N. (2010). Fluid balance and endurance exercise performance. *Current Sports Medicine Reports*, 9(4)
- Clarke, G., et al. (2014). Minireview: Gut microbiota: the neglected endocrine organ. *Molecular Endocrinology*, 28(8), 1221-1238.
- Coker, J. K., Moyne, O., Rodionov, D. A., & Zengler, K. (2021). Carbohydrates great and small, from dietary fiber to sialic acids: How glycans influence the gut microbiome and affect human health. In *Gut Microbes* (Vol. 13, Issue 1, pp. 1–18). Bellwether Publishing, Ltd. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1869502>
- Cox, G. R., et al. (2010). Effect of different protocols of caffeine intake on metabolism and endurance performance. *Journal of Applied Physiology*, 93(3), 990-999.
- Cronin, P., Joyce, S. A., O'toole, P. W., & O'connor, E. M. (2021). Dietary fibre modulates the gut microbiota. In *Nutrients* (Vol. 13, Issue 5). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13051655>
- Dahl, W. J., Rivero Mendoza, D., & Lambert, J. M. (2020). Diet, nutrients and the microbiome. In *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Vol. 171, pp. 237–263). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/bs.pmbts.2020.04.006>
- De Marco, H. M., Sucher, K. P., Cisar, C. J., & Butterfield, G. E. (1999). Pre-exercise carbohydrate meals: Application of glycemic index. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 164-170.

- de Oliveira Neves, V. G., de Oliveira, D. T., Oliveira, D. C., Oliveira Perucci, L., dos Santos, T. A. P., da Costa Fernandes, I., de Sousa, G. G., Barboza, N. R., & Guerra-Sá, R. (2020). High-sugar diet intake, physical activity, and gut microbiota crosstalk: Implications for obesity in rats. *Food Science and Nutrition*, 8(10), 5683–5695. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1842>
- Dinan, T. G., & Cryan, J. F. (2017). Gut instincts: microbiota as a key regulator of brain development, ageing and neurodegeneration. *Journal of Physiology*, 595(2), 489-503.
- Di Rienzi, S. C., & Britton, R. A. (2020). Adaptation of the Gut Microbiota to Modern Dietary Sugars and Sweeteners. In *Advances in Nutrition* (Vol. 11, Issue 3, pp. 616–629). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz118>
- Duan, R., Liu, Y., Zhang, Y., Shi, J., Xue, R., Liu, R., Miao, Y., Zhou, X., Lv, Y., Shen, H., Xie, X., & Ai, X. (2024). The impact of exercise on the gut microbiota in middle-aged amateur serious runners: a comparative study. *Frontiers in Physiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1343219>
- Fajstova, A., Galanova, N., Coufal, S., Malkova, J., Kostovcik, M., Cermakova, M., Pelantova, H., Kuzma, M., Sediva, B., Hudcovic, T., Hrncir, T., Tlaskalova-Hogenova, H., Kverka, M., & Kostovcikova, K. (2020). Diet Rich in Simple Sugars Promotes Pro-Inflammatory Response via Gut Microbiota Alteration and TLR4 Signaling. *Cells*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/cells9122701>
- Furber, M. J. W., Young, G. R., Holt, G. S., Pyle, S., Davison, G., Roberts, M. G., Roberts, J. D., Howatson, G., & Smith, D. L. (2022). Gut Microbial Stability is Associated with Greater Endurance Performance in Athletes Undertaking Dietary Periodization. *MSystems*, 7(3). <https://doi.org/10.1128/msystems.00129-22>
- Garcia, K., Ferreira, G., Reis, F., & Viana, S. (2022). Impact of Dietary Sugars on Gut Microbiota and Metabolic Health. In *Diabetology* (Vol. 3, Issue 4, pp. 549–560). MDPI. <https://doi.org/10.3390/diabetology3040042>

- Gómez-Luna, E., Fernando-Navas, D., Aponte-Mayor, G., Luis, & Betancourt-Buitrago, A. (2014). Literature review methodology for scientific and information management, through its structuring and systematization Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 81(184), 158–163. <http://dyna.medellin.unal.edu.co/>
- González-Aguilar, G. A., González-Córdova Aarón Fernando, Álvarez-Parrilla, E., García Galindo, H. S., & Vallejo-Cordoba, B. (2014). *Los alimentos funcionales: un nuevo reto para la industria de alimentos*. AGT Editor, S.A.
- Grgic, J., et al. (2020). *International society of sports nutrition position stand: caffeine and exercise performance*. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 17(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00383-4>
- Grosicki, G. J., Durk, R. P., & Bagley, J. R. (2019). Rapid gut microbiome changes in a world-class ultramarathon runner. *Physiological Reports*, 7(24). <https://doi.org/10.14814/phy2.14313>
- GSSI (Gatorade Sports Science Institute). (2023). Carbohidratos en la dieta y el atleta de resistencia: Perspectivas contemporáneas. *Sports Science Exchange*. Recuperado de <https://www.gssiweb.org/latam/sports-science-exchange/art%C3%ADculo/sse-231-carbohidratos-de-la-dieta-y-el-atleta-de-resistencia-perspectivas-contempor%C3%A1neas>
- Hecht, A. L., Harling, L. C., Friedman, E. S., Tanes, C., Lee, J., Firman, J., Hao, F., Tu, V., Liu, L. S., Patterson, A. D., Bittinger, K., Goulian, M., & Wu, G. D. (2024). Dietary carbohydrates regulate intestinal colonization and dissemination of *Klebsiella pneumoniae*. *Journal of Clinical Investigation*, 134(9). <https://doi.org/10.1172/JCI174726>
- Hughes, R. L., & Holscher, H. D. (2021). Fueling Gut Microbes: A Review of the Interaction between Diet, Exercise, and the Gut Microbiota in Athletes. In *Advances in Nutrition* (Vol. 12, Issue 6, pp. 2190–2215). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab077>

- Hughes, R. L., Kable, M. E., Marco, M., & Keim, N. L. (2019). The Role of the Gut Microbiome in Predicting Response to Diet and the Development of Precision Nutrition Models. Part II: Results. In *Advances in Nutrition* (Vol. 10, Issue 6, pp. 979–998). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/advances/nmz049>
- International Olympic Committee. (2011). Special Issue: Supplementary Issue: IOC Conferencie on Nutrition in Sport. *Journal of Sports Sciences.*, *Suppl 1*(25–7), 29.
- Isabel Bas Barberá. (2023). *Revisión Narrativa sobre la composición de la microbiota intestinal en deportistas y efecto de patrones alimentarios*. Universidad de Alicante.
- Jang, L. G., Choi, G., Kim, S. W., Kim, B. Y., Lee, S., & Park, H. (2019). The combination of sport and sport-specific diet is associated with characteristics of gut microbiota: An observational study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *16*(1). <https://doi.org/10.1186/s12970-019-0290-y>
- Jeukendrup, A. E. (2010). Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, *13*(4), 452-457.
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: Marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, *29*(sup1), S91-S99.
- Jeukendrup, A. E. (2014). A step towards personalized sports nutrition: Carbohydrate intake during exercise. *Sports Medicine*, *44*(Suppl 1), S25-S33.
- Jeukendrup, A. E. (2017). Periodized nutrition for athletes. *Sports Medicine*, *47*(1), 51-63.
- Jeukendrup AE and Gleeson M. *Sport Nutrition* (2018) Human Kinetics Champaign IL
- Kawano, Y., Edwards, M., Huang, Y., Bilate, A. M., Araujo, L. P., Tanoue, T., Atarashi, K., Ladinsky, M. S., Reiner, S. L., Wang, H. H., Mucida, D., Honda,

- K., & Ivanov, I. I. (2022). Microbiota imbalance induced by dietary sugar disrupts immune-mediated protection from metabolic syndrome. *Cell*, 185(19), 3501-3519.e20. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.08.005>
- Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, Collins R, Cooke M, Davis JN, Galvan E, Greenwood M, Lowery LM, Wildman R, Antonio J, Kreider RB. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *J Int Soc Sports Nutr*. 2018 Aug 1;15(1):38. doi: 10.1186/s12970-018-0242-y. PMID: 30068354; PMCID: PMC6090881.
- Koh, A., De Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). From dietary fiber to host physiology: short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. *Cell*, 165(6), 1332-1345.
- Kulecka, M., Fraczek, B., Mikula, M., Zeber-Lubecka, N., Karczmarski, J., Paziewska, A., Ambrozkiwicz, F., Jagusztyn-Krynicka, K., Cieszczyk, P., & Ostrowski, J. (2020). The composition and richness of the gut microbiota differentiate the top Polish endurance athletes from sedentary controls. *Gut Microbes*, 11(5), 1374–1384. <https://doi.org/10.1080/19490976.2020.1758009>
- Langdon, A., Crook, N., & Dantas, G. (2016). The effects of antibiotics on the microbiome throughout development and alternative approaches for therapeutic modulation. *Genome Medicine*, 8(1), 39.
- Ley de Promoción de la Alimentación Saludable, Ley 27.642, Argentina, 2021. Recuperada de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/356607/texto>
- Lin, C. L., Hsu, Y. J., Ho, H. H., Chang, Y. C., Kuo, Y. W., Yeh, Y. T., Tsai, S. Y., Chen, C. W., Chen, J. F., Huang, C. C., & Lee, M. C. (2020). *Bifidobacterium longum* subsp. *Longum* olp-01 supplementation during endurance running training improves exercise performance in middle-and long-distance runners: A double-blind controlled trial. *Nutrients*, 12(7), 1–14. <https://doi.org/10.3390/nu12071972>

- Macfarlane, G. T., & Macfarlane, S. (2012). Bacteria, colonic fermentation, and gastrointestinal health. *Journal of AOAC International*, 95(1), 50-60.
- Mach, N., & Fuster-Botella, D. (2017). Endurance exercise and gut microbiota: A review. *Journal of Sport and Health Science*, 6(2), 179-197.
- Marchesi, J. R., et al. (2016). The gut microbiota and host health: A new clinical frontier. *Gut*, 65(2), 330-339.
- Martinen, M., Ala-Jaakkola, R., Laitila, A., & Lehtinen, M. J. (2020). Gut microbiota, probiotics and physical performance in athletes and physically active individuals. *Nutrients*, 12(10), 1–39. <https://doi.org/10.3390/nu12102936>
- Maughan, R. J., et al. (2018). IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. *British Journal of Sports Medicine*, 52(7), 439-455.
- McGhie, T. K., et al. (2018). Blackcurrant and its role in performance and recovery in athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 28(1), 1-15.
- Mohr, A. E., Jäger, R., Carpenter, K. C., Kerksick, C. M., Purpura, M., Townsend, J. R., West, N. P., Black, K., Gleeson, M., Pyne, D. B., Wells, S. D., Arent, S. M., Kreider, R. B., Campbell, B. I., Bannock, L., Scheiman, J., Wissent, C. J., Pane, M., Kalman, D. S., ... Antonio, J. (2020). The athletic gut microbiota. In *Journal of the International Society of Sports Nutrition* (Vol. 17, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s12970-020-00353-w>
- Monda, V., Villano, I., Messina, A., Valenzano, A., Esposito, T., Moscatelli, F., & Monda, M. (2017). Exercise modifies the gut microbiota with positive health effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2017.
- Mora-Flores, L. P., Moreno-Terrazas Casildo, R., Fuentes-Cabrera, J., Pérez-Vicente, H. A., de Anda-Jáuregui, G., & Neri-Torres, E. E. (2023). The Role of Carbohydrate Intake on the Gut Microbiome: A Weight of Evidence Systematic Review. In *Microorganisms* (Vol. 11, Issue 7). Multidisciplinary

Digital Publishing Institute (MDPI).
<https://doi.org/10.3390/microorganisms11071728>

- Morita, H., Kano, C., Ishii, C., Kagata, N., Ishikawa, T., Hirayama, A., Uchiyama, Y., Hara, S., Nakamura, T., & Fukuda, S. (2023). *M I C R O B I O L O G Y* *Bacteroides uniformis* and its preferred substrate, α -cyclodextrin, enhance endurance exercise performance in mice and human males.
- Nova, E., Gómez-Martínez, S., & González-Soltero, R. (2022). The Influence of Dietary Factors on the Gut Microbiota. *Microorganisms*, 10(7).
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10071368>
- O'Donovan, C. M., et al. (2020). Distinct microbiome composition and metabolome exists across subgroups of elite Irish athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 23(1), 63-68.
- Olbricht, H., Twadell, K., Sandel, B., Stephens, C., & Whittall, J. B. (2022). Is There a Universal Endurance Microbiota? *Microorganisms*, 10(11).
<https://doi.org/10.3390/microorganisms10112213>
- Onzari, M. (2016). *Fundamentos de nutrición en el deporte* (El Ateneo, Ed.; 2a ed., 1a reimp).
- Ortiz-Alvarez, L., Xu, H., & Martínez-Tellez, B. (2020). Influence of Exercise on the Human Gut Microbiota of Healthy Adults: A Systematic Review. *Clinical and Translational Gastroenterology*, 11(2), e00126.
<https://doi.org/10.14309/ctg.000000000000126>
- Petersen, C., & Round, J. L. (2014). Defining dysbiosis and its influence on host immunity and disease. *Cell Microbiology*, 16(7), 1024-1033.
- Pfeiffer, B., et al. (2010). Carbohydrate oxidation from a drink during running compared with cycling exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(4), 673-683.
- Pfeiffer, B., et al. (2012). The effect of carbohydrate gels on carbohydrate oxidation during distance running. *Journal of Applied Physiology*, 114(3), 414-422.

- Rackerby, B., Kim, H. J., Dallas, D. C., & Park, S. H. (2020). Understanding the effects of dietary components on the gut microbiome and human health. In *Food Science and Biotechnology* (Vol. 29, Issue 11, pp. 1463–1474). The Korean Society of Food Science and Technology. <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00811-w>
- Rahimi, M. H., et al. (2017). Branched-chain amino acid supplementation and exercise-induced muscle damage: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition*, 42, 30-36. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.05.005>
- Ravindra, P. V., Janhavi, P., Divyashree, S., & Muthukumar, S. P. (2022). Nutritional interventions for improving the endurance performance in athletes. In *Archives of Physiology and Biochemistry* (Vol. 128, Issue 4, pp. 851–858). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/13813455.2020.1733025>
- Rehrer, N. J., et al. (2013). The hydration status and fluid intake of athletes in endurance sports. *Sports Medicine*, 43(11), 1139-1151.
- Saffouri, G. B., Shields-Cutler, R. R., Chen, J., Yang, Y., Lekatz, H. R., Hale, V. L., Cho, J. M., Battaglioli, E. J., Bhattarai, Y., Thompson, K. J., Kalari, K. K., Behera, G., Berry, J. C., Peters, S. A., Patel, R., Schuetz, A. N., Faith, J. J., Camilleri, M., Sonnenburg, J. L., ... Kashyap, P. C. (2019). Small intestinal microbial dysbiosis underlies symptoms associated with functional gastrointestinal disorders. *Nature Communications*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09964-7>
- Sato, M., & Suzuki, Y. (2022). Alterations in intestinal microbiota in ultramarathon runners. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10791-y>
- Scheiman, J., et al. (2019). Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nature Medicine*, 25(7), 1104-1109.
- Shreiner, A. B., Kao, J. Y., & Young, V. B. (2015). The gut microbiome in health and in disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 31(1), 69-75.

- Sonnenburg, J. L., & Sonnenburg, E. D. (2019). Vulnerability of the industrialized microbiota. In *Science* (Vol. 366, Issue 6464). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.aaw9255>
- Sonnenburg, E. D., & Sonnenburg, J. L. (2019). The ancestral and industrialized gut microbiota and implications for human health. *Nature Reviews Microbiology*, 17(6), 383-390.
- Stellingwerff T, Cox GR. Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014 Sep;39(9):998-1011. doi: 10.1139/apnm-2014-0027. Epub 2014 Mar 25. PMID: 24951297.
- Thomas, D. T., Erdman, K. A., & Burke, L. M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(3), 501-528. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>
- Turnbaugh, P. J., Ley, R. E., Mahowald, M. A., et al. (2006). An obesity-associated gut microbiome with increased capacity for energy harvest. *Nature*, 444(7122), 1027-1031.
- Valdes, A. M., Walter, J., Segal, E., & Spector, T. D. (2018). Role of the gut microbiota in nutrition and health. *BMJ*, 361, k2179.
- Valentine, R. J., et al. (2008). Effects of carbohydrate supplementation on exercise performance. *Nutrition*, 24(4), 411-414.
- Vázquez, C., Escalante, A., Huerta, J., & Villarreal, M. E. (2021). Effects of the consumption frequency of ultra-processed foods and its association with nutritional status parameters on Mexican labor force population. *Revista Chilena de Nutricion*, 48(6), 852–861. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182021000600852>
- Wallis, G. A., & Podlogar, T. (2023). *Key points dietary carbohydrate and the endurance athlete: contemporary perspectives*.

- Zeppa, S. D., Agostini, D., Gervasi, M., Annibalini, G., Amatori, S., Ferrini, F., Sisti, D., Piccoli, G., Barbieri, E., Sestili, P., & Stocchi, V. (2020). Mutual interactions among exercise, sport supplements and microbiota. In *Nutrients* (Vol. 12, Issue 1). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu12010017>
- Zhao, X., Zhang, Z., Hu, B., Huang, W., Yuan, C., & Zou, L. (2018). Response of gut microbiota to metabolite changes induced by endurance exercise. *Frontiers in Microbiology*, 9(APR). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00765>
- Zhao, L., & Elson, C. O. (2018). Adaptive immunity in the microbiota era. *Cell Host & Microbe*, 23(5), 585-592.
- Zheng, Y., Qin, C., Wen, M., Zhang, L., & Wang, W. (2024). The Effects of Food Nutrients and Bioactive Compounds on the Gut Microbiota: A Comprehensive Review. In *Foods* (Vol. 13, Issue 9). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods13091345>
- Zong, X., Luo, S., Liu, S., Deehan, E. C., Wang, Y., & Jin, M. (2024a). Nondigestible carbohydrates and gut microbiota: A dynamic duo in host defense. *Animal Nutriomics*, 1. <https://doi.org/10.1017/anr.2024.8>
- Zong, X., Luo, S., Liu, S., Deehan, E. C., Wang, Y., & Jin, M. (2024b). Nondigestible carbohydrates and gut microbiota: A dynamic duo in host defense. *Animal Nutriomics*, 1. <https://doi.org/10.1017/anr.2024.8>