

SUSTRATOS ENERGÉTICOS SEGÚN EL TIPO DE EJERCICIO

Ninguna de las vías estudiadas en esta unidad actúa de forma aislada. En todo momento, el organismo utiliza una combinación de carbohidratos y grasas —con una contribución mínima de proteínas— cuya proporción exacta depende de la intensidad, la duración, el estado de entrenamiento y la disponibilidad de sustratos del deportista. Comprender cómo se selecciona el combustible energético permite diseñar estrategias de entrenamiento y nutrición ajustadas a cada disciplina (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Dato clave

El cociente respiratorio (RER, por sus siglas en inglés) —la relación entre el CO_2 producido y el O_2 consumido— permite estimar de forma no invasiva qué sustrato predomina: un RER cercano a 0.70 indica oxidación casi exclusiva de grasas, mientras que un RER cercano a 1.00 indica oxidación casi exclusiva de carbohidratos (Powers & Howley, 2017).

El continuo de los sistemas energéticos

Como se estudió en la Unidad 1, el organismo dispone de tres sistemas para regenerar ATP: el sistema de fosfágenos, el sistema glucolítico y el sistema oxidativo. Ninguno se activa o desactiva por completo; los tres operan de manera simultánea en todo momento, con una contribución relativa que cambia de forma continua según la intensidad y la duración del esfuerzo. Esta unidad añade una capa adicional de detalle: dentro del sistema oxidativo, la proporción entre carbohidratos y grasas también varía de forma dinámica (McArdle et al., 2022).

Factores que determinan la selección de sustratos

- **Intensidad del ejercicio (%VO₂max):** a baja intensidad predominan las grasas; a medida que la intensidad aumenta, la contribución de los carbohidratos crece progresivamente hasta volverse dominante por encima del 65-70% del VO₂max (el “punto de cruce” o *crossover point*, descrito por Brooks y Mercier).
- **Duración del ejercicio:** cuanto más se prolonga el esfuerzo, mayor es la contribución relativa de las grasas, a medida que las reservas de glucógeno se van agotando.
- **Estado de entrenamiento:** los deportistas de resistencia entrenados oxidan proporcionalmente más grasa a una misma intensidad absoluta que los sedentarios, gracias a su mayor densidad mitocondrial y capacidad enzimática oxidativa, lo que desplaza el crossover point hacia intensidades más altas.
- **Disponibilidad de sustratos:** Una dieta rica en carbohidratos y niveles altos de glucógeno favorecen su uso preferente; el ayuno o una dieta baja en carbohidratos aumentan la dependencia de las grasas.
- **Estado hormonal:** La insulina favorece el uso de carbohidratos; la adrenalina, el glucagón y el cortisol favorecen la movilización y oxidación de grasas.

Aplicaciones prácticas por tipo de deporte

La proporción de sustratos utilizados varía enormemente entre disciplinas deportivas, lo que tiene implicaciones directas para el diseño de estrategias nutricionales y de entrenamiento (Rodríguez, 2015):

Tabla. Sustratos energéticos predominantes según el tipo de disciplina deportiva

Deporte / Actividad	Sistema energético predominante	Sustrato principal
Levantamiento olímpico, salto, lanzamiento	Fosfágenos	Fosfocreatina
Sprint 100-400 m, HIIT	Glucolítico anaeróbico	Glucógeno muscular
Fútbol, baloncesto (esfuerzos intermitentes)	Mixto: fosfágenos + glucolítico + oxidativo	Glucógeno y, en menor medida, grasas
800-1500 m	Glucolítico + oxidativo	Glucógeno muscular
10 km, ciclismo de ruta corto	Oxidativo predominante	Carbohidratos (glucógeno + glucosa sanguínea)
Maratón, triatlón, ultradistancia	Oxidativo	Carbohidratos y grasas (proporción creciente de grasas)

Nota. Sustratos energéticos predominantes según el tipo de disciplina deportiva. Adaptado de Rodríguez (2015) y McArdle et al. (2022).

Aplicación deportiva — Periodización nutricional

Estrategias como el entrenamiento con baja disponibilidad de glucógeno (“train low, compete high”) buscan estimular adaptaciones que aumenten la capacidad oxidativa de grasas, mientras que la carga de carbohidratos antes de la competencia asegura la máxima disponibilidad de glucógeno cuando más se necesita. Ajustar la ingesta de carbohidratos y grasas según la fase del entrenamiento es una de las aplicaciones prácticas más directas de los conceptos estudiados en esta unidad (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Ejemplo Integrador: tres deportistas, tres perfiles metabólicos

Comparar a un halterófilo, un futbolista y un maratonista permite visualizar de forma concreta cómo el tipo de ejercicio determina el perfil de sustratos utilizados (McArdle et al., 2022; Jeukendrup & Gleeson, 2018):

- **Halterófilo:** En un intento máximo de menos de 5 segundos, depende casi exclusivamente de la fosfocreatina; la glucólisis y el metabolismo oxidativo apenas contribuyen durante el levantamiento en sí, aunque son esenciales en la recuperación entre series.
- **Futbolista:** Alterna cientos de veces entre esfuerzos explosivos (fosfágenos y glucólisis) y periodos de menor intensidad en los que predomina el metabolismo oxidativo, con un consumo total de glucógeno muy elevado a lo largo de los 90 minutos.
- **Maratonista:** Mantiene un estado estable oxidativo durante horas, con una contribución de carbohidratos que va cediendo terreno progresivamente a las grasas a medida que las reservas de glucógeno se reducen, especialmente después del kilómetro 30.