

1. Bioenergética

1.1 Energía

Para poder adquirir conocimientos generales sobre nutrición deportiva (ND) y aplicarlos correctamente en las diferentes situaciones que se pueden presentar al trabajar en diferentes ámbitos (clubes, gimnasios, consultorio, etc.) y con deportistas de diferente nivel (recreacionales, amateurs, competitivos) es fundamental tener conocimientos sobre el metabolismo y la bioenergética.

El movimiento humano, tanto en la vida diaria como en el ámbito deportivo, se caracteriza por ser un evento energético. La ciencia que estudia los principios que limitan el intercambio de energía se conoce como **termodinámica o energética**. En líneas generales, los mismos principios que gobiernan los eventos energéticos en el mundo físico, también los gobiernan en el mundo biológico. La ciencia que estudia los eventos energéticos en el mundo biológico se denomina **bioenergética**.

Para describir la energía en el cuerpo humano se deben tener presente dos cosas. En primer lugar, la energía no se crea sino que se obtiene en una forma y se convierte en otra. En segundo lugar, los procesos de conversión de energía son relativamente ineficientes, y la mayoría de la energía se libera en una forma no utilizable: calor (Brooks et al., 2013).

En este módulo desarrollaremos algunos conceptos básicos vinculados con la bioenergética, el metabolismo y su aplicación en la estimación del requerimiento diario de energía de personas activas o deportistas.

1.1.1 Metabolismo

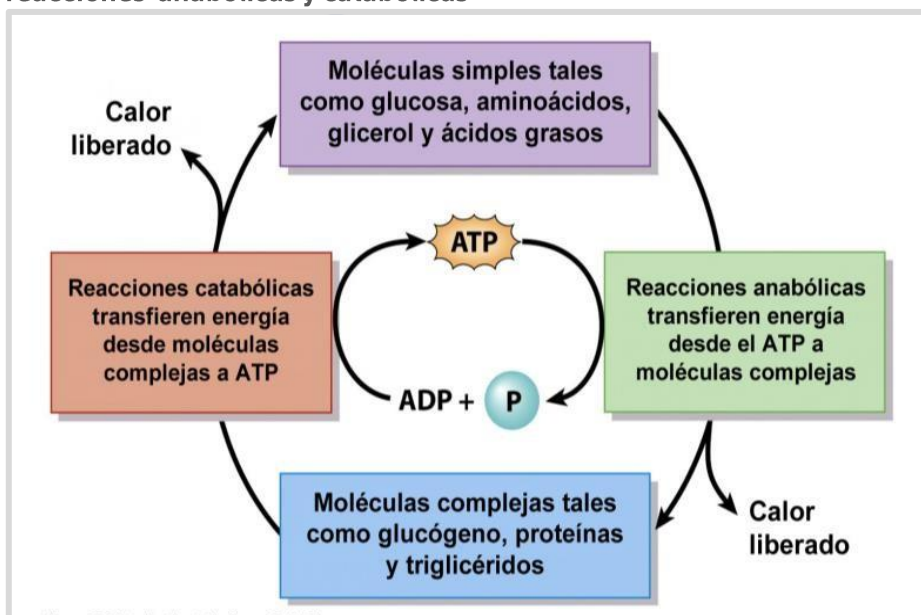
El metabolismo abarca todas las reacciones químicas que se llevan a cabo en el cuerpo; incluye la degradación de moléculas complejas en estructuras más pequeñas, es decir, **catabolismo** y la síntesis de moléculas más complejas a partir de otras más simples y de menor tamaño, es decir, **anabolismo**. (Tortora & Derrickson, 2008). En forma más simple, puede ser definido como la suma de todos los procesos que ocurren en un organismo vivo (Brooks et al., 2013).

Las reacciones químicas suceden en el organismo cuando se forman o se destruyen enlaces químicos entre las sustancias. Las enzimas funcionan como catalizadores para aumentar la velocidad en las reacciones químicas.

El **metabolismo** podría considerarse como un proceso que mantiene el equilibrio energético entre las reacciones anabólicas y catabólicas (Tortora & Derrickson, 2008). Durante las reacciones anabólicas se consume más energía de la que se produce durante su desarrollo; esta energía proviene de las reacciones catabólicas. A su vez, las reacciones catabólicas liberan la energía almacenada en las moléculas que degradan; esta energía se transfiere al adenosintrifosfato (ATP), y luego se usa para abastecer de energía a las reacciones anabólicas (Figura 1).

El calor producido por todas estas reacciones químicas es lo que se denomina **tasa metabólica**, y está reflejada en la tasa de producción de calor. Todas las reacciones dependen, en última instancia, de las reacciones de oxidación biológica; por lo tanto, la evaluación del consumo de oxígeno es una buena aproximación de la tasa de producción de calor o tasa metabólica (Brooks et al., 2013).

Figura 1: Función del adenosintrifosfato (ATP) en la conexión de las reacciones anabólicas y catabólicas



Fuente: Tortora & Derrickson, 2008, p. 507.

Antes de continuar profundizando diferentes aspectos de la bioenergética, es preciso definir algunos términos importantes (Brooks et al., 2013):

- **Energía:** es la capacidad de realizar un trabajo.
- **Trabajo:** es el producto de una fuerza dada, actuando durante una distancia. Esta es una definición mecánica. En las células es más

común que se realice un trabajo biológico (químico y eléctrico), que mecánico. Sin embargo, es posible intercambiar y convertir energía de una forma a otra.

- **Potencia:** tasa de producción de un trabajo.
- **Sistema:** unidad funcionalmente organizada. Los sistemas pueden variar desde el nivel microscópico (mitocondria) hasta el nivel corporal total.
- **Turnover:** en el organismo, las moléculas de energía son constantemente utilizadas y restauradas. El turnover se refiere a la tasa de renovación, en la cual un estado estable del metabolismo refleja que la tasa de utilización es equivalente a la de restauración.

1.1.2 Producción de energía mecánica y sistemas energéticos

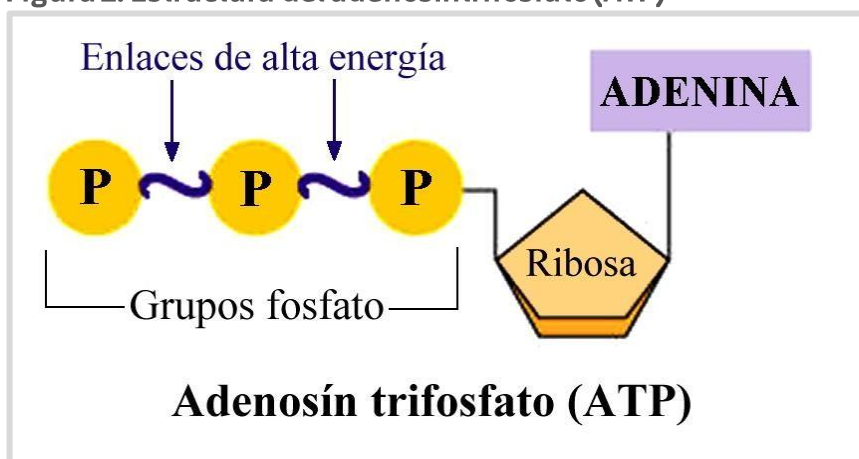
El estudio de la energía y los principios que regulan su intercambio comenzó en el Siglo XIX y se denominó **Termodinámica**. Hoy en día, el término más adecuado y más frecuentemente utilizado es **Energética**. Existen seis formas básicas de energía: térmica, química, mecánica, eléctrica, lumínica y atómica.

Las máquinas mecánicas convierten energía en calor, el cual es convertido en energía mecánica. En cambio, las máquinas biológicas (el cuerpo humano) no tienen la capacidad de convertir el calor en otro tipo de energía. En los sistemas biológicos, el calor es un componente esencial, pero inútil, de las reacciones en las cuales otras formas de trabajo se han realizado (Brooks et al., 2013).

Los mecanismos para la conversión de energía están presentes en todas las células. Ellas necesitan de una sustancia que sea capaz de recibir la energía que se libera en numerosas reacciones y, al mismo tiempo, también que sea capaz de proporcionar energía en las reacciones que precisan de ella. En nuestras células esa sustancia es casi siempre el **ATP**, por ello, frecuentemente se lo reconoce como un intermediario común de energía (Brooks et al., 2013).

El ATP pertenece al grupo de los nucleótidos. Su estructura está conformada por una base nitrogenada (adenina), un azúcar (ribosa) y 3 fosfatos (Figura 2), siendo el último de estos el que habitualmente se denomina de "alta energía". La reacción por la cual el ATP es dividido en adenosindifosfato (ADP) para liberar energía involucra agua, por lo que este tipo de reacciones son llamadas hidrólisis (que significa: dividido o escindido por el agua).

Figura 2: Estructura del adenosintrifosfato (ATP)

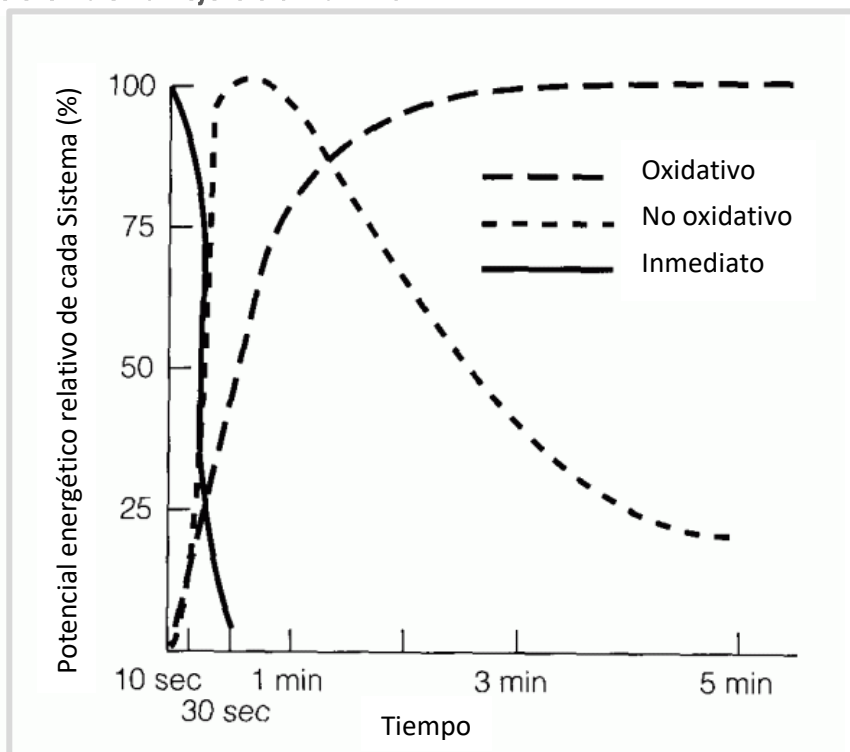


Fuente: [Imagen intitulada sobre adenosín trifosfato]. (s.f.). Recuperada de <http://goo.gl/xAK69Z>

Por lo tanto, el ATP puede ser considerado como un intermediario químico común usado para brindar energía al trabajo muscular y otras formas de trabajo celular. Sin embargo, la concentración de ATP en las células musculares es baja. Se estima que esta cantidad puede abastecer a un trabajo muscular de máxima intensidad solo durante 2 segundos (Platonov, 2001). De todos modos, las células están preparadas para mantener la concentración celular de ATP relativamente constante, en varias tasas de uso (tasas de turnover); esto es lo que se conoce como **homeostasis del ATP** (Brooks et al., 2013).

El músculo cuenta con tres fuentes de energía (o sistemas de producción de energía) que permiten dar soporte a la homeostasis del ATP: **inmediatas, no oxidativas, oxidativas**. (Figura 3) (Brooks et al., 2013).

Figura 3: Sistemas energéticos del músculo en función de la duración del esfuerzo. Representación esquemática de cuánto tiempo puede durar cada sistema en un ejercicio máximo



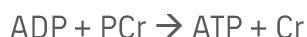
Fuente: Brooks, Fahey, and Baldwin, 2013, p. 48.

Fuentes inmediatas de energía

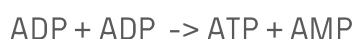
Las fuentes inmediatas de energía en el músculo están conformada por tres componentes. En primer lugar, la reserva de ATP. La reacción que degrada el ATP es catalizada por la **enzima ATPasa**, y se puede resumir de la siguiente manera:



La segunda fuente de energía celular inmediata es la **Fosfocreatina (PCr)**, que proporciona una reserva energética de fosfato para regenerar el ATP consumido durante la contracción muscular. La interacción entre el ADP, la PCr y el ATP degradado es catalizada por la enzima **Creatinquinasa**, y se puede resumir en:



La tercer fuente inmediata de energía celular involucra a la enzima **Adenilato Quinasa**, que en el músculo se suele llamar **Mioquinasa**, y cataliza esta reacción:



El AMP es importante, ya que su presencia en la célula muscular es una señal importante para la activación de los mecanismos de restauración de ADP en ATP (Brooks et al., 2013).

El ATP y la PCr, que conjuntamente suelen ser llamados **fosfágenos**, constituyen una reserva de energía muy importante, por estar disponibles en forma inmediata, pero que no puede sostener su trabajo más allá de unos pocos segundos (5-15 s), necesitando de la ayuda de otras fuentes de energía (Brooks et al., 2013).

Fuentes de energía no oxidativas (glucolíticas)

Los combustibles utilizados por este sistema energético son la glucosa y el glucógeno, y los procesos por los cuales se obtiene energía a partir de ellos se denominan **glucólisis** y **glucogenólisis**, respectivamente.

La glucólisis podría ser resumida en la siguiente ecuación (Brooks et al., 2013):



Cuantitativamente, la energía disponible por las fuentes no oxidativas es muy superior a la obtenida por las fuentes inmediatas. Sin embargo, aunque se combine la energía obtenida por estas dos fuentes, la cantidad obtenida es una fracción muy pequeña comparada con la energía disponible a través de las fuentes oxidativas. Por lo tanto, actividades musculares intensas con una duración mayor a 30 s no pueden ser mantenidas sin la ayuda del metabolismo oxidativo (Figura 3). Además, el metabolismo oxidativo es necesario para la restauración de los sistemas inmediatos y no oxidativos luego del ejercicio intenso (Brooks et al., 2013).

Fuentes de energía oxidativas

Los potenciales combustibles del sistema energético oxidativo incluyen los CHO, las grasas y algunos aminoácidos (AA) (Figura 4). Si bien la glucosa puede ser utilizada a través de mecanismos glucolíticos (ver ecuación anterior), las reacciones oxidativas permiten extraer más energía de una molécula de glucosa:



Esto se debe a que el metabolismo oxidativo permite un catabolismo más completo de la molécula de glucosa.

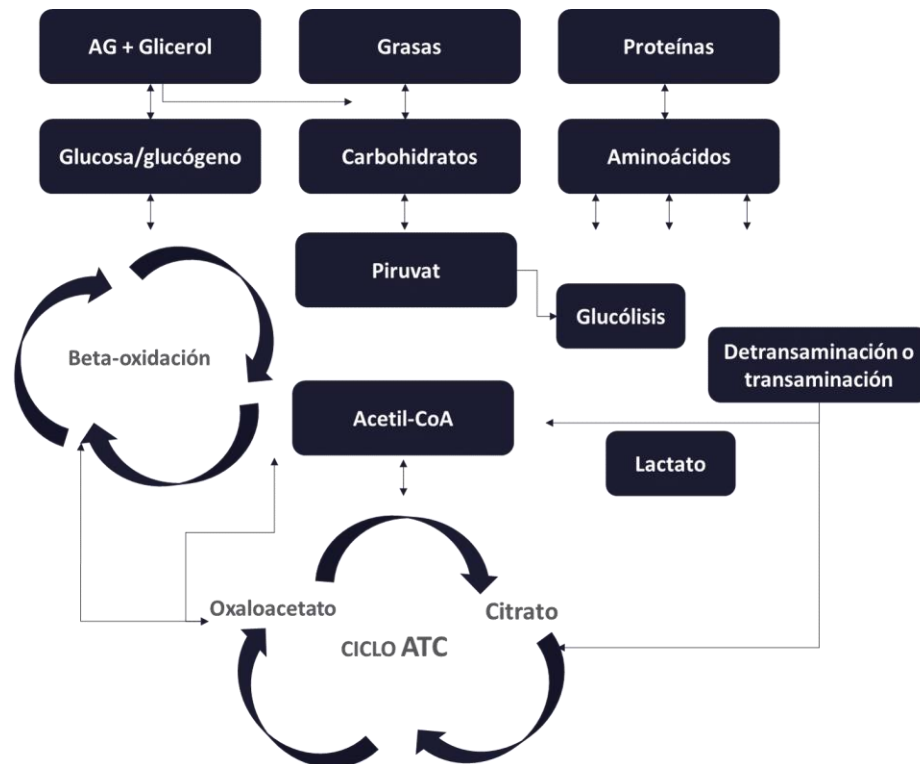
Los ácidos grasos (AG), al ser catabolizados por el metabolismo oxidativo, liberan una cantidad de energía mucho mayor que la glucosa. Por ejemplo, si se oxida una molécula de palmitato (un AG de tamaño

medio y bastante común) se obtiene:



Los aminoácidos (AA) también pueden seguir la vía oxidativa pero para ello, previamente, el residuo que contiene el nitrógeno (N₂) debe ser removido. Esto generalmente es realizado a través del intercambio del N₂ con otro compuesto (**transaminación**), o bien a través de un proceso único de remoción del N₂ (**desaminación oxidativa**). De todos modos, los AA no suelen ser utilizados para la producción de energía en el músculo, y solo dan cuenta de una pequeña fracción del ATP sintetizado (Brooks et al., 2013).

Figura 4: Principales rutas metabólicas en el sistema energético oxidativo, utilizando CHO, grasas y proteínas como combustibles



Fuente: Adaptado de Jeukendrup and Gleeson, 2004.

1.1.3 Cuantificación del gasto energético de la actividad física

Una cuestión que muchas veces se pasa por alto es que el término actividad física (AF) no es sinónimo de gasto energético (GE). La AF es una conducta caracterizada por el movimiento corporal, consecuencia de la acción muscular, y que resulta en un GE.

Se pueden reconocer varios tipos o categorías de AF (Figura 5) que, en ocasiones, incluso se superponen, dependiendo del objetivo con el cual se realice la categorización. Por ejemplo, una caminata rápida puede ser un medio de transporte, o bien formar parte de un programa de ejercicio planificado. Debido a esta superposición de las subcategorías de la AF, es muy complicada su medición como categorías independientes (Petee, Tudor-Locke, & Ainsworth, 2007).

Otra categorización de la AF podría basarse en la intensidad con la que se realiza, es decir la tasa del GE atribuida a la actividad específica (Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Pate et al., 1995).

La AF generalmente se tipifica en base a su frecuencia (p. ej., cantidad de veces por semana) y la duración (p. ej., minutos de duración de cada sesión). Pero el GE refleja el costo metabólico de una AF específica, y es el producto de la frecuencia, la duración y la intensidad de dicha actividad.

Figura 5: Componentes de la actividad física



Fuente: Adaptado de Pettee et al., 2007.

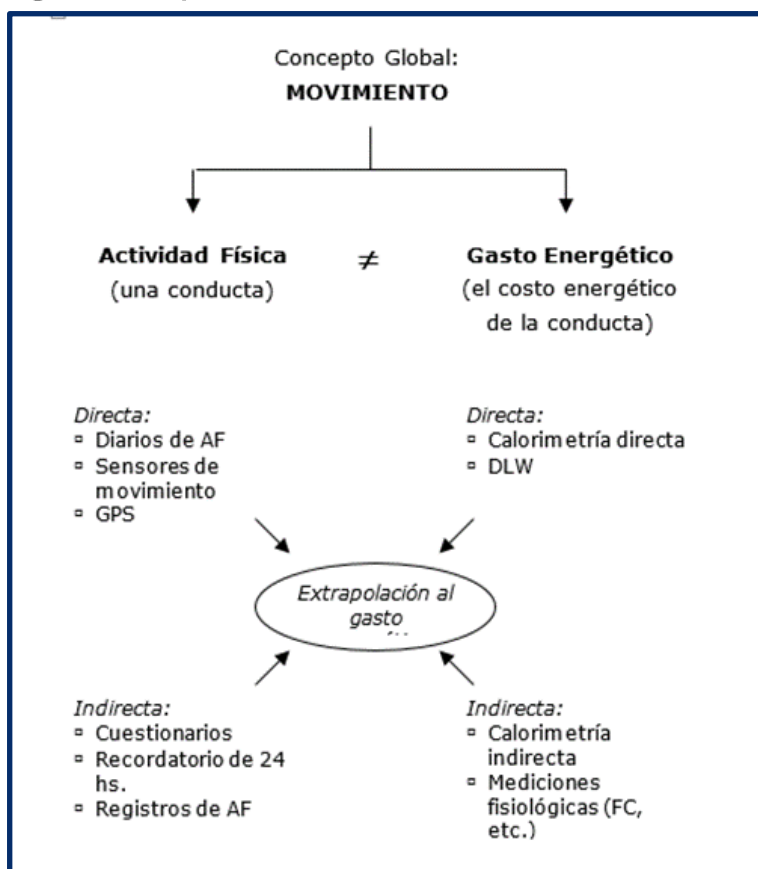
Otro punto importante referido a la estimación del GE relacionado a una actividad es la posibilidad de usar escalas donde la expresión de la intensidad o el costo energético puede hacerse de manera absoluta (ejemplo, kcal/kg/hora) o relativa (como % de la máxima capacidad

actual). A pesar de que varios factores pueden afectar el GE en una escala relativa (por ej., la edad, el peso corporal, el nivel de rendimiento), si asumimos una eficiencia mecánica relativamente constante en el ser humano (~23%) para desarrollar trabajo mecánico, entonces el GE absoluto es generalmente constante para una actividad determinada.

Para facilitar la comprensión de la evaluación de la AF y el GE podría ser útil tener un marco conceptual en el que el concepto central de interés sea movimiento. A su vez, este concepto se puede operacionalizar en dos variables mensurables: AF y GE (Figura 6). Ambas variables se pueden evaluar a través de mediciones directas e indirectas. Sin embargo, generalmente se trata de extrapolar los resultados de estas mediciones a alguna unidad de medida del GE (kcal o kJ) debido a su relación con la ingesta de energía y, en última instancia, su efecto sobre el BE.

En resumen, para poder equilibrar adecuadamente la ingesta energética de un atleta con su gasto energético son necesarias medidas válidas que permitan cuantificar sus patrones de AF y el GE asociado. La importancia de lograr cubrir adecuadamente las necesidades energéticas de los atletas se basa en que la ingesta de energía adecuada es esencial para el mantenimiento de la masa magra, la función inmune y reproductiva, así como para una óptima performance deportiva (American College of Sports Medicine, 2000). Además, un déficit crónico en la ingesta de energía ha sido considerado como uno de los factores causales potenciales del sobreentrenamiento (Leutholtz & Kreider, 2001).

Figura 6: Componentes de la actividad física



Fuente: Adaptado de Pettee et al., 2007. Abreviaciones: GPS: Sistema de Posicionamiento Global; AF: actividad física; DLW: agua doblemente marcada; FC: frecuencia cardíaca.

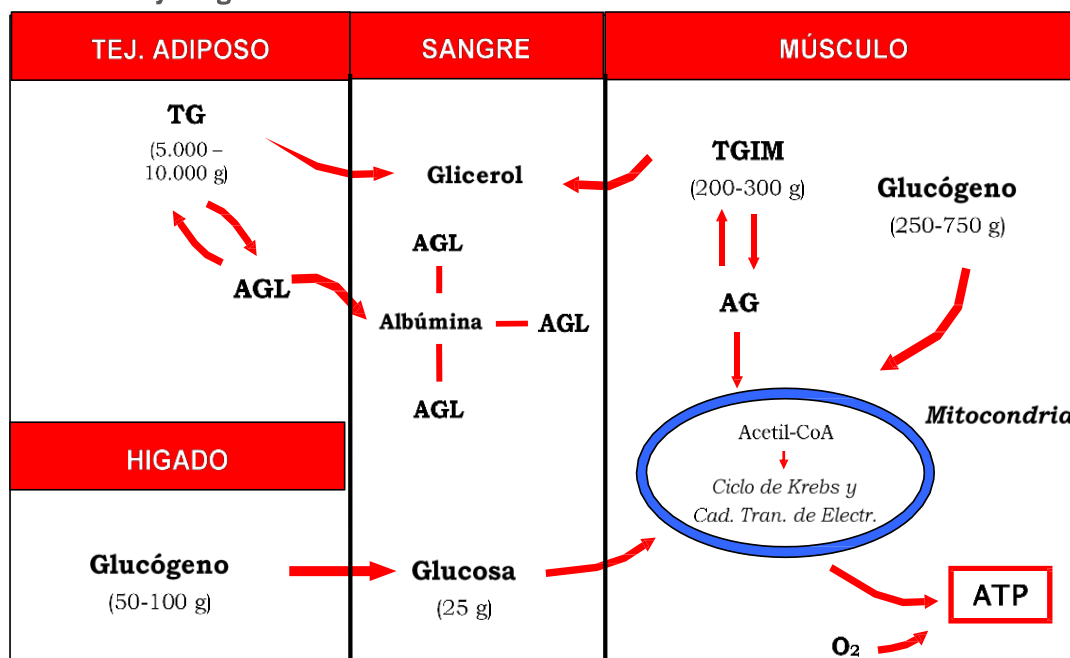
1.1.4 Reservas de energía

Los sustratos de los que se vale nuestro cuerpo para producir ATP, siendo la vía oxidativa la principal (salvo cuando se trata de esfuerzos intensos y breves), son los carbohidratos (CHO), las grasas y las proteínas. De todos modos, si bien las proteínas pueden ser utilizadas como combustible, sus principales funciones son la estructural y la reguladora, por lo que no se consideran sustratos energéticos importantes. Esto convierte a los CHO y las grasas en los principales sustratos energéticos para el músculo esquelético durante el ejercicio (Figura 7) (Coyle, 1997).

Los triglicéridos (TG) almacenados dentro de los adipocitos del tejido adiposo corporal pueden representar unos 5 a 10 kg en hombres y mujeres que posean entre un 10% a 30% de grasa corporal. Estos TG de reserva son hidrolizados, a través de la lipólisis, a glicerol y ácidos grasos libres (AGL). Los AGL por tratarse de moléculas hidrofóbicas (por ejemplo, sustancias que no tienen afinidad por el agua) deben

unirse a la albúmina para poder ser transportados en la sangre hasta, por ejemplo, el músculo esquelético (Figura 7).

Figura 7: Esquema de los principales sitios de almacenamiento y movilización de los CHO y las grasas



Fuente: Adaptado de Coyle, 1997. Abreviaciones: TGIM, triglicéridos intra-musculares; AGL, ácidos grasos libres.

Aproximadamente entre 200 y 300 g de grasas están almacenadas en forma de TG en el músculo esquelético (TGIM), y representan una importante fuente de energía adicional para el músculo. De todos modos, la tasa a la que los TGIM pueden aportar energía al músculo esquelético durante el ejercicio es menos de 1/3 de la tasa a la que aporta energía el glucógeno muscular (Coyle, 1997). Por lo tanto, las dos principales fuentes de AGL para el músculo esquelético durante el ejercicio son los provenientes de los adipocitos del tejido adiposo y los AGL provenientes de los TGIM.

Los CHO se almacenan en el cuerpo en forma de glucógeno, y las dos principales reservas corporales son las ubicadas en el hígado y en el músculo esquelético. Estas reservas corporales de glucógeno suelen ser suficientes para cubrir la cantidad de CHO consumidos por el cuerpo durante 1 día (Flatt, 1995). Dependiendo de la dieta y el patrón de AF realizado, las reservas de glucógeno muscular en el cuerpo pueden variar entre 250 y 750 g. Sin embargo, la cantidad de glucógeno disponible para realizar ejercicio va a depender de la masa muscular activada durante el esfuerzo (por ejemplo, el glucógeno muscular solo sirve de combustible para el músculo donde está almacenado). Adicionalmente, en promedio, hay unos 80 g de glucógeno en el hígado (Coyle, 1997), siendo la reserva máxima de un adulto cerca de 120 g (Flatt, 1995). Esta reserva hepática puede hidrolizarse a glucosa y ser

transportada por la sangre a los músculos para ser oxidada y proveer energía. Debido a que una tasa muy elevada de oxidación de CHO es necesaria para sostener un ejercicio intenso durante períodos prolongados, un individuo puede agotar sus reservas de glucógeno y experimentar fatiga durante el ejercicio (Coyle, 1997).

1.2 Requerimientos energéticos del deportista

1.2.1 Balance energético

En general, el balance energético (BE), o sea la relación entre la energía que consumimos a través de los alimentos y la energía gastada durante el día, es estudiado a través de la siguiente ecuación, comúnmente denominada **ecuación estática** (Ravussin & Swinburn, 1993):

Balance energético = Ingesta de energía – Gasto de energía (± en depósitos de energía)

Esta ecuación refleja que cuando la ingesta de energía (IE) es mayor que su gasto, se produce un BE positivo, que se manifiesta en un aumento de peso (principalmente debido a un aumento de tejido adiposo); por el contrario, cuando se induce un GE superior a la cantidad de energía que se ingiere, se logra un BE negativo y una disminución del peso corporal.

Sin embargo, en la actualidad, para el estudio del BE y el mantenimiento (o no) del peso corporal se prefiere utilizar una ecuación denominada **dinámica** del BE, así como el considerar el balance de cada sustrato energético por separado (Ravussin & Swinburn, 1993).

1.2.2 Componentes del gasto energético

Los principales componentes del gasto energético total diario (GETD) son: el **gasto energético en reposo (GER)**, la **termogénesis inducida por los alimentos (TIA)** y el **gasto energético de la actividad física (GEAF)** (Figura 8). En algunos casos existe un cuarto componente (que a veces suele pasarse por alto): el gasto energético correspondiente al **crecimiento**. Esto se da en el caso de niños o adolescentes que aún se encuentran en etapa de crecimiento, en mujeres embarazadas o durante la lactancia, y también en aquellos sujetos que buscan un aumento de su masa muscular.

El GER, a veces llamado **tasa metabólica en reposo (TMR)**, es la energía que requiere una persona para mantener el normal funcionamiento de los distintos sistemas del cuerpo y la constancia de la temperatura corporal en

estado de reposo. En un adulto sedentario representa entre el 60% y 75% del gasto energético diario.

La estrecha relación entre el GER y el tamaño corporal se conoce desde hace mucho tiempo. Desde principios del Siglo XX se consideraba que el GER era esencialmente el mismo para un determinado tamaño corporal. Sin embargo, estudios más recientes han demostrado que para un tamaño y composición corporal dada, el GER puede variar significativamente entre diferentes sujetos. La masa magra, la masa grasa, la edad y el sexo son los principales factores que determinan el GER, explicando el 80% de su varianza. Esto sugiere que el GER está al menos parcialmente determinado genéticamente (Ravussin & Swinburn, 1993).

La **termogénesis** es el aumento en la tasa metabólica basal como respuesta a diversos estímulos como, por ejemplo, la ingesta de alimentos, la exposición al frío o al calor, el stress psicológico, la administración de hormonas, etcétera.

La TIA, también denominada **efecto térmico de la dieta (ETD)**, es la principal forma de termogénesis, y corresponde al aumento en el GE por encima del GER asociado a la alimentación. Incluye el costo energético de la digestión, absorción, transporte, metabolismo y depósito de los nutrientes. Representa aproximadamente el 10% del GE diario. Sin embargo, este valor puede variar según el contenido energético de la comida, el tipo de alimentos consumidos, la composición de la dieta y el grado de obesidad de los sujetos.

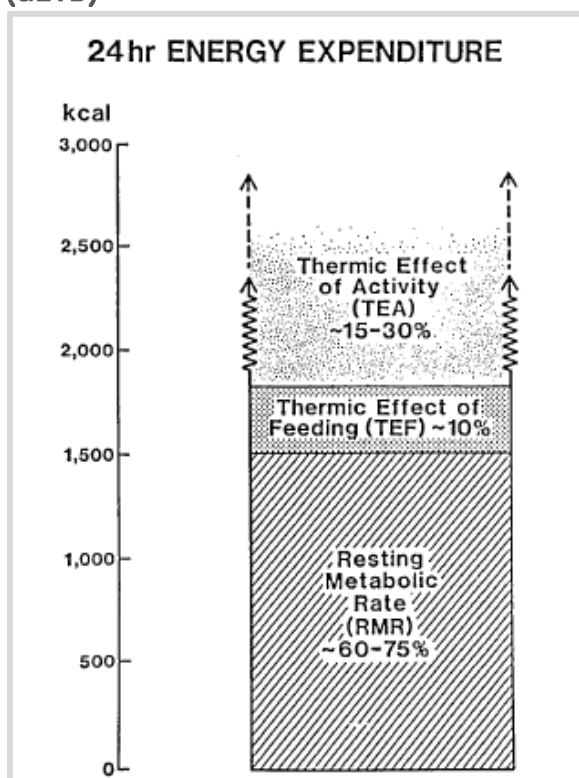
El GEAF, también denominado **efecto térmico de la actividad física (ETAF)**, es el componente más variable y el único capaz de ser controlado voluntariamente; incluye todo el gasto energético por encima del GER y la TIA. Puede representar un elevado GE en personas muy activas (en deportistas con programas de entrenamiento muy exigentes puede llegar a representar el 50% o más de su GE total). Sin embargo, en personas sedentarias el GEAF presenta un valor que oscila entre el 15% y el 30% del GE diario.

Es importante tener presente que el GEAF es un componente del GE total que incluye diferentes manifestaciones de la AF. Existen diferentes modelos de clasificación para analizarlo según los autores que se consulten. Uno que ha ganado atención en los últimos años es el propuesto por Levine, que considera que el GEAF se puede separar en dos componentes: la **termogénesis de la actividad relacionada al ejercicio (TAE)** y la **termogénesis de la actividad no relacionada al ejercicio (TANE)** (Levine, 2004; Levine, Eberhardt, & Jensen, 1999). El primero incluye todas las AF planificadas relacionadas con la práctica deportiva (si se trata de deportistas) o el fitness (si nos referimos a personas que realizan AF por salud). La TANE, en cambio, es un componente mucho más amplio, que incluye todas las actividades de la vida diaria, como, por ejemplo, la actividad laboral, las actividades

durante el tiempo libre, bailar, pasear, etcétera. Es decir que, dentro de la TANE incluiríamos todas las actividades que no sean dormir, comer y las actividades físico-deportivas.

La razón de que el concepto de la TANE haya despertado interés se debe a que, por un lado, en las sociedades con un estilo de vida moderno, el componente de la TAE es muy bajo o virtualmente cero, ya que la mayoría de los sujetos son sedentarios o entrenan poco (p. ej., realizar menos de 2 horas de ejercicio por semana hace que el GE acumulado sea de unas 100 kcal/día o menos) y, por otro lado, se ha especulado con que la TANE puede ayudar a explicar por qué algunas personas pueden mantener su peso, mientras que otras ganan peso con el paso del tiempo (Levine et al., 1999).

Figura 8: Principales componentes del gasto energético total diario (GETD)

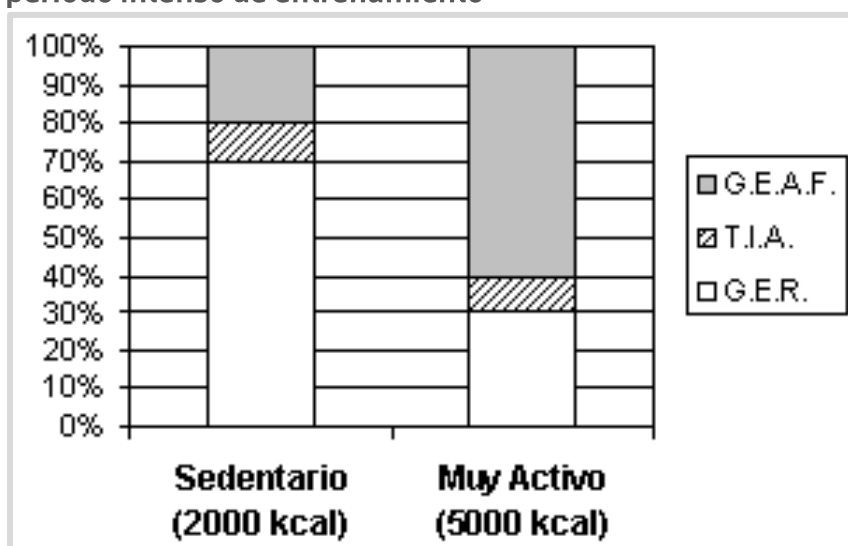


Fuente: Poehlman (1989), p. 516. Referencias: TEF, efecto térmico de la dieta; TEA, efecto térmico de la actividad física; RMR, tasa metabólica basal.

Más allá de si compartimos o no este modo de analizar el GEAF, lo importante es que, a la hora de evaluarlo, debemos hacerlo de manera amplia, teniendo en cuenta todas las posibles manifestaciones de la AF en la vida diaria del sujeto, ya que esto nos permitirá una mejor estimación del GEDT del sujeto, dato que es fundamental para la planificación de la alimentación. Es por ello, que este aspecto de la vida diaria del sujeto es una parte central de la anamnesis alimentaria.

En la Figura 9 se comparan el GETD y sus diferentes componentes en una persona sedentaria y un deportista de resistencia sometido un período de entrenamiento intenso. No solo se observa que el GE total es 2,5 veces mayor en el deportista, sino que el GEAF representa el 60 % del GE, mientras que en el sedentario el GEAF solo representa un 20 %.

Figura 9: Comparación del gasto energético y sus componentes entre una persona sedentaria y un deportista de resistencia durante un período intenso de entrenamiento



Fuente: elaboración propia

1.2.3 Cálculo del gasto energético de la actividad física

Al estudiar el GE que presentan las diferentes actividades realizadas por los seres humanos, se lo suele expresar en función de la unidad de tiempo, siendo la más común **kcal/min**, o bien teniendo en cuenta también el tamaño de la persona, o sea en **kcal/kg de peso/min**.

En los últimos años ha ganado popularidad otra manera de expresar el GE (o la intensidad) de una actividad física determinada: el **MET** o **equivalente metabólico** (Ainsworth et al., 1993; Ainsworth et al., 2000; Serra Grima & Llach Clamó, 1996). Se considera 1 MET al GE en reposo, es decir a la energía que consume una persona cuando está sentada tranquilamente, lo que equivale a **3,5 ml de O₂/kg de peso corporal/min** o **1 kcal/kg de peso corporal/hora** (Ainsworth et al., 1993). Por lo tanto, el GE o la intensidad de la actividad se expresa como múltiplo de 1 MET, es decir, que se refleja como el cociente entre la tasa metabólica de la actividad y el GE en reposo. Por ejemplo, una actividad que requiera 3 METs equivale a un GE 3 veces mayor al gasto metabólico en reposo.

Para estimar el GE de una actividad en kcal a partir de su valor en METs y

según el peso de la persona, se procede de la siguiente manera: se multiplica el peso corporal por el valor en METs de la actividad por su duración. Por ejemplo, pedalear a 4 METs equivale a un gasto de 4 kcal/kg/h. Una persona que pesa 60 kg y pedalea a esta intensidad durante 40 minutos gastará aproximadamente 160 kcal, dado que:

$$4 \text{ METs} \times 60 \text{ kg} \times (40 \text{ min} / 60 \text{ min}) = 160 \text{ kcal}$$

Es importante tener presente que el GE de cualquier actividad puede variar considerablemente dependiendo, no solo del tamaño corporal, sino también de la eficacia de los movimientos del individuo (Mahan & Escott- Stump, 1999).

1.2.4 Estimación del requerimiento de energía diario y disponibilidad energética

Al **requerimiento energético** lo podríamos definir como la cantidad de energía aportada por los alimentos que debe consumir diariamente un individuo para cubrir su GE y además mantener un tamaño y composición corporal, así como un nivel de AF que sea compatible con un buen estado de salud a largo plazo (Food and Agricultural Organization, United Nations University, & World Health Organization, 2004). Otra definición similar es la del informe del Institute of Medicine (2005), que define al requerimiento energético estimado (REE) como la ingesta energética promedio que permitiría mantener un balance energético en un adulto saludable de sexo, edad, peso, talla y nivel de actividad física consistente con una buena salud.

Más allá de las sutiles diferencias que hay entre ambas definiciones, la idea básica es que este requerimiento de energía está determinado por algunas características biológicas propias de cada sujeto (edad, peso, talla, etc.) junto con su nivel de AF. Debería permitirle además mantener un óptimo estado de salud. Para adultos sanos esto es equivalente al GETD, ya que se busca lograr un BE (es decir, REE = GETD). Sin embargo, esto no necesariamente se aplica a otras situaciones. Por ejemplo, en el caso de una persona obesa, la ingesta de energía diaria debería ser menor al GETD, para así lograr un BE negativo y una disminución de su peso corporal (REE < GETD). En el caso de una persona que tiene un peso menor al considerado saludable (como podría ser el caso de una persona que sufre de desnutrición), la situación es exactamente la opuesta, y se debería realizar un aporte energético mayor a su GETD para, de esa manera, lograr que recupere peso hasta alcanzar niveles adecuados (REE > GETD). Esta última situación también es la que se aplica en personas que desean modificar su composición corporal y aumentar su masa muscular (REE > GETD).

En general, se piensa que los deportistas tienen unas necesidades energéticas más elevadas que sus pares no deportistas debido a la mayor práctica de AF, pero esto no es siempre así.

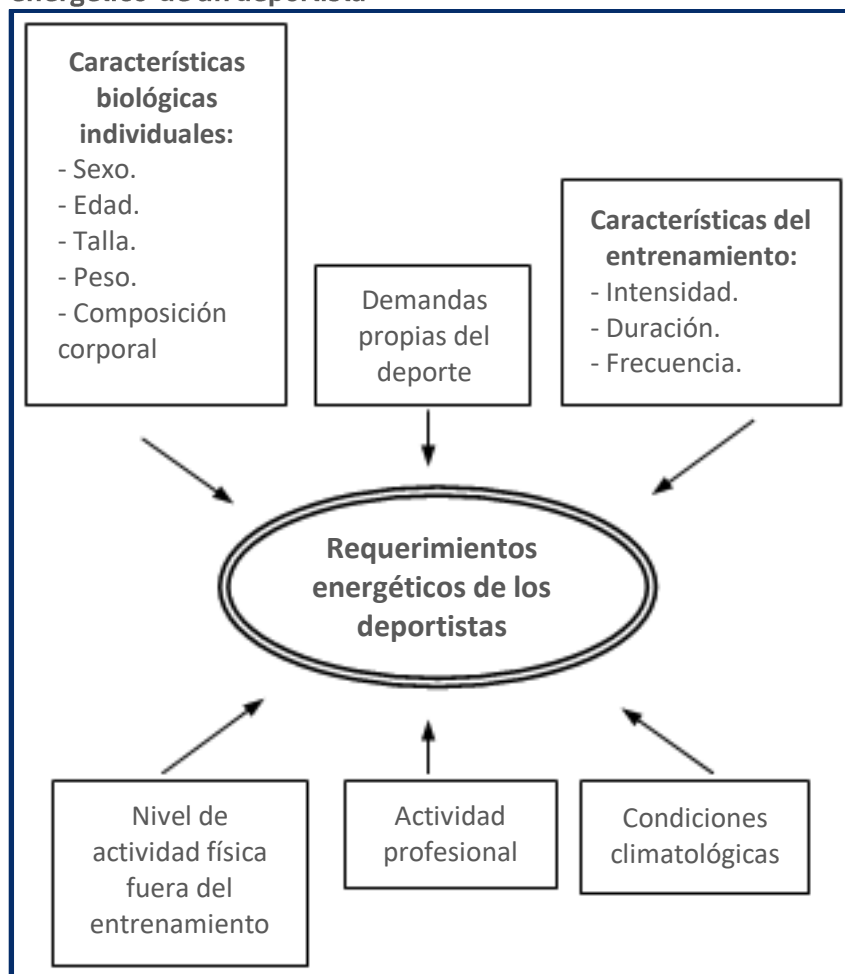
El requerimiento energético de cada deportista es único y, como se mencionó anteriormente, viene determinado por el GER, la TIA, el GEAF y, en algunos casos, por el crecimiento. Para su estimación se deben tener en cuenta numerosos factores (Figura 10). Entre ellos se destacan:

- Las características biológicas individuales del sujeto, siendo la más importante la talla (nos refleja el tamaño corporal).
- Las demandas propias de la AF (ej., el maratón no es lo mismo si se practica en terrenos llanos que en montaña, donde las diferencias en el terreno imponen un GE extra).
- Las características del entrenamiento, siendo la más importante la intensidad.
- El nivel de AF fuera del entrenamiento.
- La actividad profesional (p. ej., los deportistas amateurs o de bajo rendimiento a menudo tienen trabajos que resultan en un GE extra que debe ser tenido en cuenta).
- Por último, las condiciones climatológicas también pueden afectar las necesidades de energía.

Sin equipos sofisticados, es casi imposible determinar con gran exactitud los requerimientos de energía de un atleta, ya que dos atletas con la misma edad, talla y composición corporal equivalentes, involucrados en el mismo deporte y con entrenamientos similares, pueden tener necesidades energéticas muy diferentes.

La forma más práctica de corroborar si las necesidades energéticas están siendo cubiertas es monitorear simultáneamente la ingesta energética y el peso corporal del deportista (Reimers, Ruud, & Grandjean, 1997). El BE es verificado por un peso corporal estable, lo que significa que el consumo de energía es similar a su requerimiento.

Figura 10: Factores a considerar para la estimación del requerimiento energético de un deportista



Fuente: elaboración propia.

La metodología que se recomienda para estimar el requerimiento energético de un deportista es usar ecuaciones de predicción del GER al cuál se le adiciona el GE de las actividades diarias, incluido el entrenamiento (Burke, 2001). Los requisitos energéticos variarán dependiendo del deporte y de cada persona. La dieta y los programas de entrenamiento tienen que ser cuidadosamente dirigidos para modificar la constitución, conseguir objetivos en el rendimiento y evitar enfermedades.

Con respecto a esto, es importante reconocer a la población que está en riesgo de experimentar los efectos en detrimento de un balance energético negativo. Recientemente la **triada de la mujer atleta**, es decir, la coexistencia de los desórdenes alimenticios, trastornos en la función menstrual y la densidad ósea subóptima, ha tenido una publicidad considerable (Loucks 2003; Birch 2005; Beals & Meyer 2007). Los consejos de expertos en medicina deportiva, incluidos los dietistas, los psicólogos y los doctores, son importantes para una detección precoz y para un control de problemas relacionados con la composición corporal y la nutrición.

A continuación desarrollaremos algunas de las ecuaciones más utilizadas tanto para la estimación del GER como del REE.

Estimación del gasto energético en reposo

Varias ecuaciones han sido desarrolladas para la estimación del GER. Es importante tener presente que las mismas se han obtenido a partir de diferentes poblaciones, que varían en edad, sexo, nivel de adiposidad y AF. Por lo tanto, se recomienda tratar de utilizar una ecuación de predicción que refleje de la mejor manera posible la población o individuos con los que estamos trabajando.

- Harris & Benedict (1918):

A pesar de haber sido desarrollada hace casi 100 años (Harris & Benedict, 1918), esta ecuación continúa siendo la más utilizada en la práctica clínica a la hora de estimar el GER.

Hombres: $66,5 + (13,75 \times P) + (5 \times T) - (6,76 \times E)$ Mujeres: $655,1 + (9,56 \times P) + (1,85 \times T) - (4,68 \times E)$

Donde

P: peso, en kg. T: talla, en cm.

E: edad, en años.

Sin embargo, es importante tener presente que esta ecuación sobreestima sistemáticamente el GER en al menos un 5%, e incluso hay estudios que informaron un error de entre un 10% y un 15% (Frankenfield, Rowe, Smith, & Cooney, 2003).

- Mifflin et al. (1990):

Debido a que provee una estimación más precisa del GER en un mayor porcentaje de casos, tanto en personas con peso normal como obesas, se recomienda como la ecuación de preferencia cuando no se puede evaluar directamente el GER (Frankenfield, Roth-Yousey, & Compher, 2005; Frankenfield et al., 2003).

Hombres: $10 \times P + 6,25 \times T - 5 \times E + 5$ Mujeres: $10 \times P + 6,25 \times T - 5 \times E - 161$

Donde

P: peso, en kg. T: talla, en cm.

E: edad, en años.

- World Health Organization, Food and Agricultural Organization, & United Nations University (1985):

Otras ecuaciones frecuentemente utilizadas en la estimación del GER son las propuestas en el informe de WHO/FAO/UNU (1985). A diferencia de las anteriores sólo utiliza el peso (en kg) para su cálculo.

Hombres:

- a) 18-30 años: $15,3 \times P + 679$
- b) 30-60 años: $11,6 \times P + 879$
- c) >60 años: $13,5 \times P + 487$ Mujeres:

- a) 18-30 años: $14,7 \times P + 496$
- b) 30-60 años: $8,7 \times P + 829$
- c) >60 años: $10,5 \times P + 596$

Donde

P: peso, en kg.

- Cunningham (1980):

En 1980 Cunningham confirmó la hipótesis, propuesta originalmente por Benedict, de que el tejido corporal metabólicamente activo, o sea la masa magra (MM), es el mejor predictor del GER. En base a este hallazgo, propuso una ecuación simplificada para la predicción del GER a partir de la MM:

$$\text{GER} = 500 + 22 \times \text{MM (en kg)}$$

Las diferencias específicas de cada sexo se tienen en cuenta al utilizar la MM (en ocasiones también llamada masa libre de grasa, MLG), ya que las mujeres, en promedio, poseen menores proporciones de MM y una mayor masa grasa comparadas con los hombres.

- Ravussin & Bogardus (1989)

En 1989, Ravussin & Bogardus señalaron que para comparar el gasto energético en sujetos de diferente tamaño es necesario estandarizar las tasas metabólicas en base a algún indicador de la masa corporal metabólicamente activa. Sin embargo, no hay métodos precisos para la valoración de ella. Por lo tanto, si bien la MM no es el indicador ideal, parece ser el mejor predictor de la tasa metabólica basal. En base a datos sobre 249 sujetos, propusieron la siguiente fórmula para la estimación del GER (Ravussin & Bogardus, 1989):

$$\text{GER} = 392 + 21,8 \times \text{MLG (en kg)}$$

Esta ecuación da resultados ligeramente inferiores a la ecuación de Cunningham (1980), y muy similares a la de Mifflin et al. (1990).

Si nos fijamos con atención, las ecuaciones analizadas han sido desarrolladas en personas sedentarias o que realizaban actividad física sólo de manera recreacional. Por lo mencionado anteriormente, lo ideal sería utilizar ecuaciones desarrolladas a partir de poblaciones similares a los sujetos en los que deseamos estimar su GER. En el caso de los deportistas, no existen ecuaciones específicas, y sólo se ha publicado una ecuación por De Lorenzo y cols. (1999) en base a una muestra de 51 deportistas varones (involucrados en la práctica de water polo, karate y judo). La ecuación es:

$$\text{GER (kcal/d)} = -857 + 9 \times \text{Peso (en kg)} + 11,7 \times \text{Talla (en cm)}$$

De todos modos, esta ecuación necesita ser validada, así como también sería necesario desarrollar ecuaciones en base a otras poblaciones deportivas y también para muestras de mujeres deportistas.

Otra alternativa en las poblaciones deportivas es utilizar la ecuación de Cunningham (1980) o de Ravussin & Bogardus (1989), ya que las mismas se basan en la MM, lo cual es una ventaja dado que los deportistas en general suelen tener una mayor MLG y una menor masa grasa que sus pares sedentarios. Si bien la MLG no se mide con técnicas muy precisas de manera rutinaria (lo que podría ser un problema para su aplicación), una alternativa sería aplicar modelos antropométricos como el Fraccionamiento en 5 Masas para su valoración (considerado como el modelo de referencia actual en el cálculo de la composición corporal a partir de datos antropométricos).

Pero lo más importante a tener en cuenta a la hora del cálculo del GER es que la mayoría de las veces este no es medido directamente, sino que se estima a partir de diferentes fórmulas; la variación en el resultado obtenido no sólo se debe a que quizás la fórmula empleada no sea la más específica en relación a la población con la que fue desarrollada y el grupo en el que la aplicamos, sino además a que el GER se puede ver modificado por una gran cantidad de factores (edad, sexo, peso, masa magra, ciclo menstrual, temperatura corporal, concentración de ciertas hormonas, tabaco, alcohol, cafeína, etc.)

Estimación del requerimiento de energía diario

Una vez que hemos calculado el GER, debemos estimar el GETD, para lo cual podemos utilizar diferentes métodos. A continuación desarrollaremos algunos de los más comunes.

Método 1: Método factorial

Este método consiste en que, una vez estimado el GER, este valor se multiplica por un factor de actividad y el resultado representa la estimación del GETD.

Existen distintas variantes del mismo, siendo la más simple el utilizar un **factor de actividad global** para todo el día, que representaría el nivel de ejercicio típico del sujeto. Otra modalidad, mucho más compleja y laboriosa, es que el atleta complete un detallado diario de actividad, y de esta manera, se estima el costo de cada una de ellas y su aporte al gasto total; aunque debido al gran esfuerzo que esto implica, generalmente no se utiliza.

Por lo general, factores de 1,3 a 1,6 son utilizados para el cálculo en personas sedentarias o con un nivel de actividad bajo, mientras que valores por encima de 2 reflejan individuos muy activos.

Un ejemplo del uso del método factorial de manera global es el propuesto en la edición de las RDA (Recommended Dietary Allowances) de 1989 (Tabla 1) (National Research Council, 1989).

Tabla 1: Factores para la estimación del requerimiento de energía diario para hombres y mujeres (entre 19 y 50 años), según diferentes niveles de actividad

Nivel de Actividad	Factor de Actividad (x GER)	Gasto energético (kcal/kg/día)
Muy suave		
Hombres	1,3	31
Mujeres	1,3	30
Suave		
Hombres	1,6	38
Mujeres	1,5	35
Moderada		
Hombres	1,7	41
Mujeres	1,6	37
Intensa		
Hombres	2,1	50
Mujeres	1,9	44
Muy Intensa		
Hombres	2,4	58
Mujeres	2,2	51

Fuente: Adaptado de RDA, 1989.

Otro ejemplo del método factorial es el propuesto en el informe del National Health and Medical Research Council (NHMRC) (2006). Las recomendaciones para la población australiana y neozelandesa no

tienen valores diferentes según sexo y separan las recomendaciones en 6 categorías según el **nivel de AF (NAF)**, siendo los valores de referencia para cada una de ellas:

- 1,2 (equivalente a un estilo de vida exclusivamente sedentario)
 - 1,4
 - 1,6
 - 1,8
 - 2,0
- 2,2 (estilo de vida muy activo o actividad laboral muy intensa)

Destacan que un NAF menor a 1,4 es incompatible con un estilo de vida independiente o la capacidad para ganarse la vida; que NAFs por encima de 2,5 son muy difíciles de mantener por largos períodos de tiempo, y que NAFs de 1,75 o más son los recomendables para un óptimo estado de

salud. En la Tabla 2 se describen brevemente las 6 categorías consideradas en este reporte.

Tabla 2: Niveles de gasto energético para diferentes estilos de vida (estimados a partir de mediciones realizadas con la técnica del agua doblemente marcada)

Descripción del estilo de vida	Ejemplos de ocupaciones	NAF
1. En reposo, exclusivamente sedentarios o acostados.	Ancianos. Individuos enfermos o incapaces de una	1,2
2. Actividad exclusivamente sedentaria; trabajo sentado con poca o ninguna actividad agotadora en el tiempo libre(a).	Empleados de oficinas, mecánicos de precisión.	1,4 - 1,5
3. Actividad sedentaria; trabajo sentado con alguna caminata ocasional y actividad de pie, pero poca o ninguna actividad agotadora de tiempo libre(a).	Personal de laboratorio, conductores, estudiantes, trabajadores en líneas de montaje.	1,6 - 1,7
4. Trabajo realizado predominantemente parado o caminando (a).	Amas de casa, vendedores, camareros, mecánicos, comerciantes.	1,8 - 1,9
5. Trabajo laboral pesado o personas muy activas en su tiempo libre.	Trabajadores de la construcción, agricultores, trabajadores forestales, mineros, atletas de alto rendimiento.	2,0 – 2,4
6. Cantidad significativa de práctica deportiva o actividad agotadora de tiempo libre además de lo indicado en los puntos 2, 3 y 4.		Adicionar unidades extra de NAF

Fuente: Adaptado de Nutrient Reference Values for Australia and New Zealand (NHMRC, 2006).
 Nota: (a): para los deportes y actividades de tiempo libre agotadoras (30-60 minutos, 4-5 veces por semana) adicionar 0,3 unidades de NAF por día. Abreviaciones: NAF: nivel de actividad física.

Es importante tener presente que las estimaciones de los requerimientos de energía obtenidos a partir de estos métodos son solo aproximados. Cuando se utilizan para predecir los requerimientos de los sujetos, los valores obtenidos deben ser usados con cautela. Siempre que sea necesario un valor preciso, lo ideal sería que el GER se mida directamente, en lugar de estimarlo, y que el nivel de actividad

sea estimado en base a un detallado registro del patrón de actividad usual del sujeto.

Método 2: estimación a partir de la técnica del agua doblemente marcada

Esta metodología es la que se utilizó en la última edición de las DRI (Dietary References Intakes) (Institute of Medicine, 2005) para calcular el REE. En esencia, el REE estima el GER basándose en el sexo, la edad, la talla y el peso, y luego ajusta este valor según el NAF diario.

Para reflejar el gran efecto que tiene el NAF sobre los requerimientos de energía, en este informe se crearon cuatro categorías de AF que están resumidas en la Tabla 3. Recordemos que el NAF refleja el cociente entre el GETD y el GER, es decir, que cuanto más alto el cociente, mayor es la cantidad de AF diaria.

Tabla 3: Coeficientes de AF, según el NAF, para el cálculo del REE en base a las fórmulas planteadas en las DRI

Categoría	Nivel de Actividad Física (NAF)	Coeficiente de AF (Hombres / Mujeres)
Sedentario	≥ 1,0 - 1,39	1,00 / 1,00
Poco activo	≥ 1,4 - 1,59	1,11 / 1,12
Activo	≥ 1,6 - 1,89	1,25 / 1,27
Muy activo	≥ 1,9 - 2,5	1,48 / 1,45

Fuente: Adaptado de IOM, 2005.

El GE de un sujeto en la categoría sedentario, representa su GER, el ETD, más varias actividades físicas livianas asociadas con un estilo de vida independiente (caminar de la casa o el trabajo al auto, trabajo de oficina sedentario como mecanografiar, y otras actividades de baja intensidad).

Para las demás categorías, el informe basa el NAF en la cantidad de AF diaria equivalente a caminar a una velocidad de 4,8 a 6,4 km/h (3 a 4 millas/h). Por ejemplo, se considera un estilo de vida poco activo (NAF promedio = 1,5) para un adulto promedio de 70 kg cuando, además de las actividades propias de la vida cotidiana independiente, se realiza un esfuerzo equivalente a caminar ~3,5 km/día a la velocidad antes mencionada (hablamos de un esfuerzo equivalente, ya es posible tener el mismo gasto energético pero a través de otras actividades).

Se considera un estilo de vida activo a un NAF de 1,6 a 1,89. Un sujeto de 70 kg con un NAF promedio de 1,75 necesitaría un gasto por AF equivalente a caminar ~11,5 km/día a una velocidad de entre 4,8 y 6,4 km/h.

Una persona de 70 kg con un estilo de vida muy activo (NAF promedio

de 2,2) debería tener un gasto por AF equivalente a caminar ~26,5 km/día a la velocidad antes mencionada, además de las actividades propias de un estilo de vida independiente. Es importante tener presente que no es necesario caminar esta cantidad de km, ya que se puede lograr un GE similar, pero en menos tiempo, si realizamos actividades más intensas.

En base a numerosos estudios que utilizaron la técnica del agua doblemente marcada (DLW, por su sigla en inglés), el IOM desarrolló una serie de ecuaciones para estimar el GETD (que como ya mencionamos es equivalente al REE en sujetos saludables). A continuación se indican las correspondientes a los adultos:

Hombres, 19 años o mayores:

$$\text{REE} = 662 - 9,53 \times E + [\text{AF} \times (15,91 \times P + 539,6 \times T)]$$

Mujeres, 19 años o mayores:

$$\text{REE} = 354 - 6,91 \times E + [\text{AF} \times (9,36 \times P + 726 \times T)]$$

Donde

REE: gasto energético diario total, en kcal/día; E: edad, en años;

P: peso, en kg;

T: talla, en metros;

AF: coeficiente de actividad física, basado en el NAF (ver Tabla 3).

Método 3

Una tercera posibilidad sería realizar un **método combinado**, donde se realice un cálculo general del GE del estilo de vida del sujeto (con el método factorial) y a ese valor sumarle el GE del plan de entrenamiento. Para esto necesitaríamos contar, por un lado, con información detallada del plan de entrenamiento (se le puede preguntar directamente al deportista si conoce con detalle su plan de entrenamiento o tiene registro del mismo, o bien consultando al entrenador o preparador físico) y, por otro lado, con datos de referencia del GE de diferentes actividades. El **Compendio de Actividades Físicas de Ainsworth** (2000) puede ser una opción, o sino, algunos libros de fisiología del ejercicio o nutrición tienen tablas detalladas del GE de numerosas actividades.

En síntesis, esta estrategia se resumiría de la siguiente manera:

$$\text{REE} = (\text{GER} \times \text{Coeficiente de actividad diaria}) + \text{GE del plan de entrenamiento.}$$

Disponibilidad energética

Un nuevo concepto referido al aporte de energía para los deportistas que ha ganado importancia en los últimos años en la nutrición

deportiva es el de **disponibilidad energética (DE)**.

La ingesta de la cantidad adecuada de energía es el requerimiento nutricional más básico y fundamental de todo deportista (ver en el próximo módulo "Principios de la Nutrición Deportiva"); es fundamental para mantener una óptima masa y composición corporal, una adecuada reserva de combustibles, y se relaciona directamente con el aporte de casi todos los nutrientes. Sin embargo, complica el logro de este objetivo nutricional el hecho de que los seres humanos no poseen un fuerte impulso biológico para adecuar la ingesta de energía (IE) al GEAF (Loucks, 2014).

En el campo de la nutrición, el tema de la energía tradicionalmente se ha estudiado y manejado en base al concepto de balance energético ($BE = IE - GE$). Conceptualmente, el BE es la cantidad de energía dietética sumada a, o perdida de, las reservas corporales de energía, luego de que todos los sistemas fisiológicos del cuerpo han completado su trabajo diario. Como tal, el BE es un output (un valor de salida) de esos sistemas (Loucks, 2014; Loucks, Kiens, & Wright, 2011).

Tradicionalmente, en el campo de la biología, a diferencia del de la nutrición, han estudiado el efecto de la energía aportada por los alimentos en la salud y la función reproductiva de los animales que enfrentan desafíos ambientales específicos en términos de DE, definida como la IE menos el GE para realizar una determinada función metabólica de interés. Conceptualmente, la DE es la cantidad de energía dietética restante para todos los otros sistemas fisiológicos luego de haber cubierto la demanda de interés. Consecuentemente, la DE es un input (un valor de entrada) para esos sistemas (Loucks, 2014; Loucks et al., 2011). Por lo tanto, en el ámbito de la fisiología del ejercicio, la DE es definida como la IE menos el GE del ejercicio o AF realizada ($DE = IE - GEAF$) (Loucks, 2014; Loucks et al., 2011).

El concepto de DE reconoce que la energía aportada por los alimentos es utilizada para numerosas funciones fisiológicas vitales (por ej., mantenimiento de la función celular, termorregulación, crecimiento, reproducción, inmunidad, movimiento, etc.), y la energía gastada en uno de estos procesos no está disponible para los otros.

Es muy común en el campo de la nutrición estimar los requerimientos energéticos a través de la medición o estimación del GE. Sin embargo, esto podría ser un error, ya que la medición del GE no aporta información sobre si los sistemas fisiológicos están funcionando de manera saludable. Debido a que los procesos fisiológicos son suprimidos o enlentecidos por una DE severamente baja, la medición del GE total o del GER subestimaría los requerimientos de energía de un atleta crónicamente malnutrido (Loucks, 2014; Loucks et al., 2011).

Las hormonas encargadas de regular los procesos fisiológicos responden a la disponibilidad energética, no a la ingesta o al gasto energético, así como tampoco al estrés del ejercicio (Loucks, 2014).

Por todo esto, algunos autores plantean que el balance energético no es útil para el manejo de la alimentación de los atletas (Loucks, 2014; Loucks et al., 2011).

Como el trabajo de los atletas se enfoca hacia unos objetivos específicos en el deporte, estos se exponen a diferentes dietas y ejercicios lo que impactará en su disponibilidad energética. Cuando el atleta cambia su entrenamiento para consumir más o menos energía, las modificaciones dietéticas pasan a ser una parte importante de la estrategia nutritiva para así incrementar o reducir la disponibilidad energética y ayudar en la gestión de la composición corporal (Loucks et al., 2011).

Los deportistas que gastan una gran cantidad de energía en sesiones prolongadas de entrenamiento pueden desarrollar un déficit energético aunque no tengan desórdenes alimentarios, una alimentación desordenada, o incluso una restricción dietética.

Es por ello que para alcanzar los retos, los atletas del FCB tienen que hacer ajustes apropiados a su dieta para compensar la energía que se gasta durante la participación en su deporte. En los deportes de equipo como el fútbol, la cantidad media de calorías consumidas en un solo partido o sesión de entrenamiento se ha calculado en aproximadamente unas 1000- 1500 Kilocalorías (Kcal) (Bangsbo et al., 2006).

Como norma general, para los jóvenes y adultos sanos, la dieta tendría que contener aproximadamente 45 kcal / kg de MC por día (Loucks et al., 2011). Se ha planteado como umbral a partir del cual se alteraría la función reproductiva y la formación de hueso, un valor de disponibilidad energética menor a 30 kcal/kg de MLG/día; este valor se corresponde muy estrechamente con el valor de GER (Loucks, 2004; Loucks et al., 2011). Una insuficiente DE también ha mostrado afectar negativamente la función inmune (Loucks et al., 2011). En otras palabras, una DE <30 kcal/kg de MLG/día aporta menos energía que la necesaria para que los sistemas fisiológicos de adultos saludables funcionen adecuadamente en reposo.

Los atletas que pertenecen a deportes donde se requieren cuerpos con poca grasa corporal, normalmente incrementan sus horas de entrenamiento y hacen numerosos intentos para perder peso. Es conocido que la energía consumida por estos atletas puede ser muy baja (Erp van- Baart et al., 1989; Dahlstrom et al., 1990). Como consecuencia, estos atletas están más expuestos a padecer infecciones del tracto respiratorio superior en comparación con los atletas que mantienen su balance energético (Hagmar et al., 2008). Un excesivo

entrenamiento, una pobre disponibilidad energética crónica, la ingesta de pocos nutrientes y las angustias psicológicas están normalmente involucrados en las estrategias de pérdida de grasa y puede causar daños a largo plazo a la salud, el bienestar y, en consecuencia el rendimiento. Por lo tanto, la periodización del entrenamiento en el deporte requiere una periodización correspondiente de DE para cumplir con los objetivos del entrenamiento y para apoyar la adaptación.

En el BFC, los atletas expuestos en entrenamientos intensivos y prolongados son aconsejados a comer con disciplina, es decir comer cantidades específicas de alimentos particulares a tiempos fijados (Loucks et al., 2011).

También se sostiene que la gran influencia de un atleta es su entrenador. Teniendo esto en cuenta, el implementar las estrategias nutritivas no tendría que ser únicamente una tarea del nutricionista del club. Un cambio de comportamiento será más efectivo cuando todo el personal que influye en el atleta entienda la importancia de la DE y las estrategias nutritivas. Esto se consigue a través de seminarios en grupos pequeños y sobre todo en los manuales dirigidos a los entrenadores.

Manejo de la disponibilidad energética

Siguiendo a Loucks (2014), propone manejar la DE en 6 pasos:

- 1) Evaluar la MLG del deportista.
- 2) Evaluar el GE diario del entrenamiento (GEE).
- 3) Elegir el valor de DE apropiado para el atleta en función de los objetivos actuales de entrenamiento (Tabla 4).
- 4) Calcular la IE diaria necesaria en base a $IE = (MLG \times DE) + GEE$
- 5) Desarrollar el plan de alimentación que permite cubrir esa IE.
- 6) Cumplir el plan de alimentación, independientemente de la sensación de hambre/apetito del deportista.

Tabla 4: Rangos adecuados de DE según el objetivo deseado

Disponibilidad energética	Objetivo
>45 kcal/kg MLG/día	Ganancia de masa corporal, hipertrofia muscular, sobrecarga de glucógeno.
~45 kcal/kg MLG/día	Mantenimiento de la masa corporal; énfasis en el desarrollo de habilidades motrices.
30-45 kcal/kg MLG/día	Pérdida de masa o grasa corporal

Fuente: Adaptado de Loucks, 2014.

En resumen, la disponibilidad energética es la cantidad de energía



restante disponible para el resto de los procesos biológicos, luego de restar el GE del ejercicio. Tiene algunas ventajas sobre el concepto de BE para manejar los programas de entrenamiento y alimentación para optimizar la salud y el rendimiento deportivo. Una de estas ventajas es que el cálculo de la DE involucra la estimación del GE del entrenamiento, en lugar del GE total, que tiene un mayor grado de incertidumbre y error. Investigaciones recientes han identificado un umbral de disponibilidad energética debajo del cual la salud reproductiva y ósea se ve afectada negativamente. El mismo umbral quizás podría también aplicarse a otras condiciones patológicas asociadas con el déficit energético. Además, algunos procesos fisiológicos, como por ejemplo la síntesis de proteínas, quizás también varíen linealmente con la DE.

Referencias

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Leon, A. S., Jacobs, D. R., Jr., Montoye, H. J., Sallis, J. F., & Paffenbarger, R. S., Jr. (1993). Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities (Traducción propia). *Med Sci Sports Exerc*, 25(1), 71-80.

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Whitt, M. C., Irwin, M. L., Swartz, A. M., Strath, S. J., . . . Leon, A. S. (2000). Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities (Traducción propia). *Med Sci Sports Exerc*, 32(9 Suppl), S498-504.

American College of Sports Medicine. (2000). Joint Position Statement: Nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada (Traducción propia). *Med Sci Sports Exerc*, 32(12), 2130-2145.

Bangsbo, J., M. Mohr and P. Krstrup (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci* 24(7):665-674.

Beals, K. A. and N. L. Meyer (2007). Female athlete triad update. *Clin Sports Med* 26(1): 69-89.

Birch, K. (2005). Female athlete triad. *BMJ* 330(7485): 244-246.

Brooks, G. A., Fahey, T. D., & Baldwin, K. M. (2013). *Fisiología do Exercício. Bioenergética humana e suas aplicações.* (4a ed.) (Traducción propia). São Paulo: Phorte.

Burke, L. M. (2001). Energy needs of athletes (Traducción propia). *Can J Appl Physiol*, 26 Suppl, S202-219.

Coyle, E. F. (1997). Fuels for sport performance (Traducción propia). In D. R. Lamb & R. Murray (Eds.), *Perspectives in Exercise Science & Sport Medicine*, Vol. 10, *Optimizing Sport Performance.* (pp. 95-138). Carmel: Benchmark Press.

Cunningham, J. J. (1980). A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults (Traducción propia). *Am J Clin Nutr*, 33(11), 2372-2374.

Dahlstrom, M., E. Jansson, E. Nordevang and L. Kaijser (1990). Discrepancy between estimated energy intake and requirement in female dancers. *Clin Physiol* 10(1): 11-25.

De Lorenzo, A., Bertini, I., Candeloro, N., Piccinelli, R., Innocente, I., & Brancati, A. (1999). A new predictive equation to calculate resting

metabolic rate in athletes (Traducción propia). *J Sports Med Phys Fitness*, 39(3), 213-219.

Erp van-Baart, A. M. J., W. H. M. Saris, R. A. Binkhorst, J. A. Vos and J. W. H. Elvers (1989). Nationwide survey on nutritional habits in elite athletes. Part II: Mineral and vitamin intake. *Int J Sports Med* 10(suppl. 1): S11-S16.

Flatt, J. P. (1995). Use and storage of carbohydrate and fat (Traducción propia). *Am J Clin Nutr*, 61(4 Suppl), 952S-959S.

Food and Agricultural Organization, United Nations University, & World Health Organization. (2004). Human energy requirements (Traducción propia). Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.

Frankenfield, D. C., Roth-Yousey, L., & Compber, C. (2005). Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: a systematic review (Traducción propia). *J Am Diet Assoc*, 105(5), 775-789.

Frankenfield, D. C., Rowe, W. A., Smith, J. S., & Cooney, R. N. (2003). Validation of several established equations for resting metabolic rate in obese and nonobese people (Traducción propia). *J Am Diet Assoc*, 103(9), 1152-1159.

Hagmar, M., A. L. Hirschberg, L. Berglund and B. Berglund (2008). Special attention to the weight-control strategies employed by Olympic athletes striving for leanness is required. *Clin J Sport Med* 18(1): 5-9.

Harris, J. A. & Benedict, F. G. (1918). A Biometric Study of Human Basal Metabolism (Traducción propia). *Proc Natl Acad Sci U S A*, 4(12), 370-373.

[Imagen intitulada sobre Adenosín trifosfato]. (s. f.). Recuperada de <http://goo.gl/Yiscll>

Institute of Medicine. (2005). Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (Traducción propia). Washington, D.C.: National Academies Press.

Jeukendrup, A. E. & Gleeson, M. (2004). Sport Nutrition (Traducción propia). USA: Human Kinetics.

Leutholtz, B. & Kreider, R. B. (2001). Optimizing Nutrition for Exercise & Sport (Traducción propia). In T. Wilson & N. Temple (Eds.), *Nutritional Health: Strategies for Disease Prevention* (pp. 207-239). Totowa, New Jersey: Humana Press.

Levine, J. A. (2004). Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology (Traducción propia). *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 286(5), E675-685.

Levine, J. A., Eberhardt, N. L., & Jensen, M. D. (1999). Role of nonexercise activity thermogenesis in resistance to fat gain in humans (Traducción propia). *Science*, 283(5399), 212-214.

Loucks, A. B. (2003). Introduction to menstrual disturbances in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 35(9): 1551-1552.

Loucks, A. B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise (Traducción propia). *J Sports Sci*, 22(1), 1-14.

Loucks, A. B. (2014). Energy Balance and Energy Availability (Traducción propia). In R. J. Maughan (Ed.), *Sports Nutrition* (pp. 72-87). Chichester, West Sussex: Wiley Blackwell.

Loucks, A. B., Kiens, B., & Wright, H. H. (2011). Energy availability in athletes (Traducción propia). *J Sports Sci*, 29 Suppl 1, S7-15.

Mahan, L. & Escott-Stump, S. (1999). *Nutrición y Dietoterapia de Krause* (9a ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Mifflin, M. D., St Jeor, S. T., Hill, L. A., Scott, B. J., Daugherty, S. A., & Koh, Y. O. (1990). A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals (Traducción propia). *Am J Clin Nutr*, 51(2), 241-247.

National Health and Medical Research Council (NHMRC). (2006). *Nutrient Reference Values for Australia and New Zealand* (Traducción propia). Australian Government Department of Health and Ageing and the New Zealand Ministry of Health.

National Research Council. (1989). *Recommended dietary allowances* (10th ed.) (Traducción propia). Washington, D.C.: National Academy Press.

Pate, R. R., Pratt, M., Blair, S. N., Haskell, W. L., Macera, C. A., Bouchard, C., Wilmore, J. H. (1995). Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine (Traducción propia). *JAMA*, 273(5), 402-407.

Pettee, K., Tudor-Locke, C., & Ainsworth, B. E. (2007). The Measurement of Energy Expenditure and Physical Activity (Traducción propia). In I. Wolinsky & J. A. Driskell (Eds.), *Sports Nutrition. Energy Metabolism and Exercise* (pp. 159-189). USA: CRC Press.

Platonov, V. N. (2001). *Teoría General del Entrenamiento Deportivo Olímpico*. Barcelona: Editorial Paidotribo.

Poehlman, E. T. (1989). A review: exercise and its influence on resting energy metabolism in man (Traducción propia). *Med Sci Sports Exerc*,

21(5), 515-525.

Ravussin, E. & Bogardus, C. (1989). Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization (Traducción propia). *Am J Clin Nutr*, 49(5 Suppl), 968-975.

Ravussin, E. & Swinburn, B. (1993). Energy Metabolism (Traducción propia). In A. J. Stunkard & T. A. Wadden (Eds.), *Obesity: Theory & Therapy* (pp. 97-123): Raven Press.

Reimers, K. J., Ruud, J. S., & Grandjean, A. (1997). Nutrición Deportiva. Actualización en Ciencias del Deporte, 5(15), 4-17.

Serra Grima, J. R. & Llach Clamó, M. (1996). Métodos utilizados para cuantificar la intensidad del trabajo físico. . In J. R. Serra Grima (Ed.), *Prescripción del ejercicio físico para la salud* (pp. 117-140). Barcelona: Edit. Paidotribo.

Tortora, G. J. & Derrickson, B. (2008). Introducción al cuerpo humano (7a ed.). México D.F.: Ed. Médica Panamericana.

World Health Organization, Food and Agricultural Organization, & United Nations University. (1985). Energy and Protein Requirements (Traducción propia). Technical Report Series N° 724. Geneva: World Health Organization.