

## Artículos por Invitación

PENSAR EN MOVIMIENTO:

*Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*

EISSN 1659-4436

Vol. 11, No. 2, pp. 1- 14



### REPLANTEAMIENTO DE LA TERMODINÁMICA ENERGÉTICA: ESTRATEGIAS DE INGESTA DE ENERGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL Y EL RENDIMIENTO DE ATLETAS

*Dan Benardot, PhD, DHC, RD, LD, FACSM*

[dbenardot@gsu.edu](mailto:dbenardot@gsu.edu); [www.foodandsport.com](http://www.foodandsport.com); @DrDanBenardot

*Profesor, Departamento de Nutrición. Profesor, Departamento de Kinesiología and Salud  
Universidad Estatal de Georgia  
Atlanta, GA, EE.UU.*

Manuscrito recibido: 07/07/2013; reenvíos: 25/10/2013, 15/11/2013; aceptado: 15/11/2013;  
publicado: 18/12/2013

---

#### RESUMEN

Benardot, D. (2013). Replanteamiento de la termodinámica energética: estrategias de ingesta de energía para la optimización de la composición corporal y el rendimiento en atletas. **PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud**, 11 (2), 1-14. Un aspecto clave de la actividad física es que produce un aumento en la tasa de gasto energético y, como resultado de las ineficiencias metabólicas que conducen a una alta producción de calor, produce un aumento en la necesidad de disipar el calor adicional con ayuda de la sudoración. No obstante, los estudios que valoran la ingesta de alimentos y bebidas en los atletas concluyen que estas personas no logran satisfacer de manera óptima su requerimiento diario previsto de energía ni de líquido, provocando que su rendimiento sea inferior con respecto a lo que su capacidad permitiría. Este problema obedece, en cierta medida, a una dependencia excesiva de las sensaciones de hambre y sed como guías para la ingesta de energía y líquido. Además, existen malentendidos sobre las mejores estrategias nutricionales para alcanzar tanto una composición corporal adecuada como un rendimiento óptimo. Todos los atletas, independientemente de su disciplina deportiva, deberían esforzarse por mejorar su relación fuerza-peso para facilitar una mayor habilidad de superar la resistencia asociada a su deporte; sin embargo, esto se puede interpretar incorrectamente como la necesidad de disminuir el peso, lo cual puede provocar el consumo insuficiente de energía a través de restricciones en la alimentación y dietas especiales. El resultado es, casi siempre, el opuesto de lo que se pretendía alcanzar, puesto que se dan relaciones más bajas de fuerza-peso que a su vez producen una espiral descendente en el consumo energético. Este manuscrito se concentra en las estrategias de equilibrio diario de alimentación e ingesta de líquido que utilizan actualmente con éxito muchos atletas de élite, incluyendo a corredores de larga distancia, velocistas, gimnastas, patinadores artísticos y jugadores de fútbol americano. Dichas estrategias pueden

ayudar a los atletas y así evitar los errores comunes de baja ingesta, al mismo tiempo que mejoran su composición corporal y rendimiento.

**Palabras Clave:** balance energético, composición corporal, peso.

---

## ABSTRACT

Benardot, D. (2013). Energy Thermodynamics Revisited: Energy Intake Strategies for Optimizing Athlete Body Composition and Performance. **PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud**, 11 (2), 1-14. A key feature of physical activity is that it results in an increased rate of energy expenditure and, as a result of metabolic inefficiencies that lead to high heat production, an increase in the requirement to dissipate the added heat through sweat. Nevertheless, studies assessing food and fluid intakes of athletes commonly find that they fail to optimally satisfy their daily predicted requirements of both energy and fluid, causing them to perform at levels below their conditioned capacities. To some extent, this problem results from an excess reliance on the sensations of 'hunger' and 'thirst' to guide energy and fluid intakes. However, there are also common misunderstandings of the best nutrition strategies for achieving optimal body composition and performance. Athletes in all sports should strive to improve the strength-to-weight ratio to enable an enhanced ability to overcome sport-related resistance, but this may be misinterpreted as a need to achieve a lower weight, which may result in an under-consumption of energy through restrained eating and special 'diets'. The outcome, however, is nearly always the precise opposite of the desired effect, with lower strength-to-weight ratios that result in an ever-increasing downward spiral in energy consumption. This paper focuses on within-day energy balance eating and drinking strategies that are now successfully followed by many elite-level athletes, including long-distance runners, sprinters, gymnasts, figure skaters, and football players. These strategies can help athletes avoid the common errors of under-consumption while simultaneously improving both body composition and performance.

**Key words:** Energy balance; body composition; weight.

---

## Introducción

Todas las prácticas deportivas producen un aumento en la tasa de gasto energético, un cambio en la utilización de sustratos energéticos, una alteración en los requerimientos de vitaminas y minerales, y una exigencia aumentada de disipación del calor producido por el ejercicio. La eficiencia en la conversión de combustible en movimiento muscular, la cual se calcula entre 20 y 40%, produce una cantidad considerable de calor asociado al ejercicio. Como los seres humanos no pueden almacenar calor adicional, durante el ejercicio la producción de una gran cantidad de sudor elimina el exceso (Burke, [2001](#); Maughan & Noakes, [1991](#)). La actividad física, por lo tanto, aumenta la demanda de energía y de líquido. A pesar de estas necesidades aparentemente simples relacionadas con el ejercicio, las encuestas que evalúan la ingesta de alimentos y líquidos han encontrado que las personas físicamente activas, a menudo no logran satisfacer de manera óptima sus necesidades aumentadas tanto de energía como de líquidos (Hawley & Burke, [1997](#); Hubbard, Szlyk & Armstrong, [1990](#)). Para agravar el problema, se ha descubierto que existe una tendencia a suministrar la energía y los

líquidos luego del momento de mayor necesidad (esto es una poscarga), lo cual tiene como resultado un menor rendimiento y un cambio no deseado en la composición corporal (Deutz, Benardot, Martin & Cody, [2000](#); Saltzman & Roberts, [1995](#)). Varias explicaciones existen acerca de por qué los atletas no logran satisfacer de manera óptima su necesidad total de energía y líquido, dentro de estas tenemos: una mala comprensión de cuáles son los mejores alimentos y bebidas que pueden consumir; la disponibilidad inadecuada de alimentos y bebidas antes, durante y después del ejercicio; también ciertas tradiciones específicas de cada deporte que perpetúan los hábitos inadecuados de alimentación e hidratación; o una tendencia de los atletas a modelar su conducta conforme a lo que observan en aquellos que han sobresalido en su deporte, aún si sus prácticas de consumo de alimentos y bebidas no son las óptimas (Benardot, [2007](#)).

Además, la mayoría de atletas mantienen un nivel elevado de ansiedad asociada con la alimentación, pues temen que si ingieren alimentos y bebidas apropiados para equilibrar el desgaste energético del ejercicio, eso va a alterar negativamente su composición corporal debido al aumento de peso (Vardar, Vardar & Kurt, [2007](#); Haase, Prapavessis & Owens, [2002](#); Krane, Waldron, Stiles-shiple & Michalenok, [2001](#)). En cierta medida, existe confusión acerca de qué comer y beber debido a la mala utilización de términos, lo cual ocurre comúnmente, por ejemplo, una alta cantidad de grasa corporal no significa un alto peso corporal, ser magro no es lo mismo que ser delgado y un mayor peso podría ser algo muy bueno si obedece a una mayor cantidad de tejido magro que puede mejorar la relación fuerza-peso (Benardot, [2007](#)). El entrenador que insiste en que su atleta debe perder tres kilogramos se espantaría al ver el resultado en el rendimiento, pues cabe la posibilidad de que la mayoría de esa pérdida de peso proviniera del músculo y no de la grasa. Si este mismo atleta ganara tres kilos de músculo y perdiera tres kilos de grasa, mantendría su peso corporal y tendría una mejor relación fuerza-peso. Además, aparentaría ser más pequeño (lo cual es una ventaja en ciertos deportes en que la apariencia física es relevante) debido a que el músculo es más denso que la grasa; probablemente también mejoraría su resistencia pues tendría un menor *equipaje* no muscular que mover. En términos sencillos, el hecho de que muchas personas físicamente activas no logren consumir una cantidad adecuada de líquido y energía podría ser el resultado directo de la inapropiada utilización de una medida: el peso, como el único parámetro de preparación para el rendimiento. También podría deberse a un entendimiento equivocado de la termodinámica energética en los seres humanos.

### **Termodinámica energética: la perspectiva macroeconómica**

La perspectiva tradicional del equilibrio energético presupone una visión macroeconómica del ser humano: una ingesta de energía de 24 horas que sea igual al gasto energético de esas 24 horas dará como resultado un equilibrio energético perfecto, estado que se asocia con la estabilidad del peso (ver [Figura 1](#)). También se entiende que un balance energético positivo (esto es, ingerir relativamente más energía de la que se gasta) exige un almacenamiento del excedente de energía y por ende una ganancia de peso. Un equilibrio energético negativo (ingerir relativamente menos de lo que se gasta) exige que la diferencia se obtenga de los tejidos corporales, produciendo una disminución en el peso (Melby & Hickey, [2005](#)). Este sistema de termodinámica energética implica que una disminución significativa en la ingesta

calórica (que a menudo se describe como *hacer dieta*) produce pérdida de peso, pero la creencia de que también se logra un perfil corporal mejorado y una mejor composición corporal no puede sostenerse ante el escrutinio. Asimismo, existe evidencia de que las personas que están a dieta (esto es, cualquier persona que no satisface adecuadamente sus necesidades energéticas) generalmente regresan a su peso original, pero el peso resultante tiene una menor masa metabólicamente activa y una mayor masa grasa (Saltzman & Roberts, [1995](#); Wing & Phelan, [2005](#)).

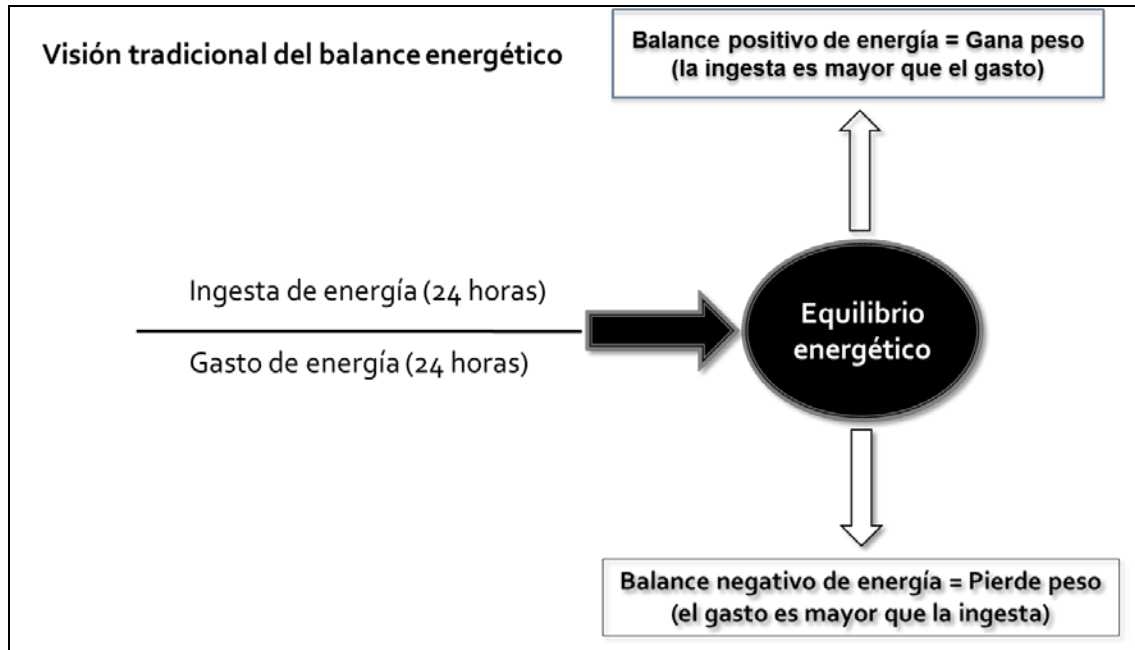


Figura 1. Visión macroeconómica del equilibrio energético.  
Elaborada por el autor.

Esta perspectiva excesivamente simplista del equilibrio energético ignora las respuestas hormonales humanas a los cambios que ocurren en el equilibrio energético en tiempo real y presenta una relación estandarizada entre energía (kilocalorías) y peso que se usa habitualmente para predecir el cambio de peso tanto en atletas como en personas obesas: 3.500 kcal = 1 libra (32.217 kJ = 1 kg). En otras palabras, un equilibrio energético positivo de 32.217 kJ (7.700 kcal) produce un aumento de peso de 1 kilogramo; un equilibrio negativo de 32.217 kJ (7.700 kcal) produce una disminución de peso de 1 kilogramo. A pesar de que esta relación se presenta invariablemente en la mayoría de los libros que se refieren al equilibrio energético, nunca se ha demostrado que sea correcta. De hecho, en una revisión sistemática de equilibrio energético se encontró que la relación no es certera (Hall et al., [2012](#)). Los autores señalan que es una falacia pensar que pequeños cambios en el estilo de vida tienen la capacidad de revertir la obesidad; muestran que caminar para perder 100 kcal (418,4 kJ) adicionales por día debería producir una pérdida de 50 libras (22,7 kg) en cinco años, pero la

pérdida real es típicamente de solo 10 libras (4,5 kg). Los Institutos Nacionales de la Salud de los EE. UU. (*National Institutes of Health* o NIH por sus siglas en inglés) presentaron recientemente un nuevo modelo en línea que incorpora este punto mediante la inclusión de nuevas normas de ajuste (<http://bwsimulator.niddk.nih.gov>). Este sistema calcula que una reducción permanente de 40 kcal (167 kJ) diarios en la ingesta energética debería dar como resultado una pérdida de peso ~20 libras (unos 9 kg) en 5 años, pero la pérdida de peso que predice es de solamente 4 libras (1,82 kg) porque el cuerpo tiene una respuesta compensatoria que no está considerada en la predicción del equilibrio energético convencional de que 32.217 kJ (7.700 kcal) equivalen a un kilogramo.

### *Respuesta hormonal a las variaciones del equilibrio energético*

Existen datos que sugieren que las dosis relativamente altas de carbohidratos simples o refinados podrían provocar hiperinsulinemia, lo cual, a diferencia de la respuesta insulinémica normal, no logra suprimir la hormona controladora del apetito, la grelina (Saad et al., [2002](#); Knerr, Gröschl, Rascher & Rauh, [2003](#); Blom et al., [2005](#)). La presencia continua de grelina provocaría un mayor consumo de alimentos y, si esto produjera un alto equilibrio energético positivo, ocurriría un aumento de peso. En ausencia de un estímulo anabólico para aumentar la masa muscular, el resultado sería un aumento en la grasa corporal. Sin embargo, esta explicación de la hiperinsulinemia basada en los carbohidratos es probablemente incompleta y potencialmente engañosa, pues existen múltiples causas de hiperinsulinemia además del consumo de comidas de alto índice glicémico que típicamente contienen una alta proporción de carbohidratos refinados o azúcar por ejemplo, un patrón de alimentación que es poco frecuente y permite que la glicemia (glucosa sanguínea) caiga por debajo de los niveles normales también podría provocar una respuesta hiperinsulinémica a la siguiente oportunidad de comer (Bertelsen et al., [1993](#); Fábry & Tepperman, [1970](#)). Además, la insulina se secreta exponencialmente según la carga calórica de los alimentos consumidos, por lo cual la ingesta de una comida excesivamente grande (independientemente de su composición) también daría como resultado una producción excesiva de insulina, con el aumento concomitante agudo de grasa y, debido al mantenimiento asociado de la grelina, mayor ingesta energética total y aumento de peso a corto plazo (Toshinai et al., [2001](#); Cohn, Berger & Norton, [1968](#)). La presencia de una gran cantidad de grasa corporal total o de un aumento de grasa abdominal, independientemente del alimento ingerido, también provoca hiperinsulinemia con todas sus secuelas (Evans, Hoffman, Kalkhoff, & Kissebah, [1984](#); Peiris, Mueller, Smith, Struve, & Kissebah, [1986](#)). De tal modo que si bien es cierto los carbohidratos cumplen un papel especial en la producción de insulina, existen muchas otras causas de hiperinsulinemia que son independientes de la distribución de macronutrientes; estas causas no se pueden ignorar si se pretende entender cómo es que la dinámica del equilibrio energético influye sobre el peso y la composición corporal.

Un problema adicional es que el cálculo del equilibrio energético que utiliza la visión macroeconómica de 24 horas presupone que el momento del día usado para evaluar las 24 horas previas es irrelevante. El procedimiento típico de recolección de datos para ese tipo de evaluación consiste en preguntarle a un cliente o atleta cuál fue la ingesta y cuál fue el gasto energético en las 24 horas previas, sin tomar en cuenta la hora del día en que el cliente está en

consulta, lo cual supone que el equilibrio energético en ese preciso instante es el mismo que hubo durante todas las 24 horas que lo precedieron. Sin embargo, el equilibrio energético durante el día no es constante, de manera que los resultados obtenidos en los cálculos dependerán del momento en que el atleta sea evaluado. Además, los alimentos no son siempre consumidos a la misma hora. Una cena tardía ingerida al inicio del período de evaluación de 24 horas podría hacer que se incluyeran dos cenas en el mismo análisis, lo cual daría la impresión de un gran superávit energético en esas 24 horas. Una cena temprano al inicio de un período de evaluación de 24 horas y una cena tardía al final de este podría hacer que se excluyeran ambas, dando la impresión de que el cliente está en un déficit energético crónico. La conclusión sobre el equilibrio energético sería, por lo tanto, totalmente distinta para la misma persona según el momento del día en que se hace la evaluación.

Es posible que una persona tenga un equilibrio energético casi perfecto al final de un período de evaluación de 24 horas, pero si ha llegado a ese punto con excedentes o déficits sumamente altos podría tener un impacto sobre la composición corporal. Una preocupación con el modelo macroeconómico de balance energético es la poca importancia que se le da a la forma en que la energía se ingiere o se gasta. Este modelo supone que una persona que requiere de 2.000 kcal diarias (8.368 kJ/d) para satisfacer sus necesidades podría ingerir esa energía sin tomar en cuenta el tamaño ni la frecuencia de las comidas; el resultado en el peso o la composición corporal sería el mismo. Esta persona puede, por ejemplo, ingerir un desayuno de 2.000 kcal y no comer nada más el resto del día, o una cena de 2.000 kcal sin comer nada más antes de eso, también está la opción de tener cuatro tiempos de alimentación, cada uno con 500 kcal. El modelo macroeconómico de 24 horas supone que el sistema endocrino solamente interviene en el momento en que se hace la evaluación, de modo que el resultado obtenido en composición corporal y peso será el mismo, pero no es así. El gran desayuno haría que la persona pasara la mayor parte del día en superávit energético, teniendo como consecuencia probable el almacenamiento excesivo de grasa; la gran cena más bien haría que la persona pasara la mayor parte del día en déficit energético, con el consecuente catabolismo de tejido magro y un almacenamiento de grasa relativamente mayor después de la comida. Mientras tanto, la persona que se alimenta más seguido probablemente mantendrá su masa metabólica y su masa grasa.

Como ejemplo se puede mencionar la evaluación de una atleta de patinaje artístico, cuyo equilibrio energético final era prácticamente perfecto, pero que mantenía un gran déficit negativo conforme se aproximaba al punto final (Benardot, [2007](#)). La acción correctiva fue hacer un ajuste de la energía consumida a lo largo del día para evitar el gran déficit, pero conservando la ingesta energética total original. Esta estrategia dio como resultado un menor porcentaje de grasa corporal para esta atleta, consistente con los resultados de Deutz et al. ([2000](#)). En ningún momento se hizo una recomendación de aumentar o disminuir la ingesta total de energía; más bien, se cambió el momento y la cantidad de alimentos en cada ingesta para mantener mejor el equilibrio energético a lo largo del día e influir así positivamente sobre la respuesta hormonal.



El modelo tradicional de equilibrio energético de 24 horas no es capaz de tomar en cuenta las fluctuaciones ocurridas a lo largo del día, conforme lo ilustran algunos estudios. Por ejemplo, se ha encontrado que ocurre catabolismo muscular cuando el abastecimiento de combustible es inadecuado, como consecuencia de una mayor producción de cortisol; esta sería una adaptación al mal suministro de energía (Jenkins et al., [1989](#); Iwao, Mori, & Sato, [1996](#)). La alimentación poco frecuente y la ingesta de grandes cantidades en cada comida producen mayor almacenamiento de grasa en el cuerpo, aun cuando la ingesta calórica total es la misma, en gran medida debido a la mayor producción de insulina en respuesta a las comidas más abundantes (Fogtelloo et al., [2004](#); Deutz et al., [2000](#)). Tanto la insulina como la glucosa sanguínea y la leptina se controlan mejor con ingestas frecuentes y más pequeñas que se ajustan dinámicamente a las necesidades energéticas (Leibel, Rosenbaum, & Hirsch, [1995](#); Hawley & Burke, [1997](#)). La persona que se ejercita y no logra satisfacer su necesidad dinámica de energía provoca hipoglicemia, lo cual la lleva a un estado de gluconeogénesis. Esto probablemente provocará la degradación de tejido magro para liberar alanina en el hígado; allí, mediante el ciclo de alanina-glucosa, se puede producir glucosa para mantener el funcionamiento cerebral, entre otros procesos. Uno de los primeros estudios sobre el tema descubrió que luego de tan sólo 40 minutos de esfuerzo físico, la alanina libre sérica podría aumentar entre 60 y 90% o aún más, si el ejercicio se lleva a cabo cuando la glicemia está baja (Felig & Wahren, [1971](#)). Otros estudios más recientes han encontrado también que el cortisol se eleva si el ejercicio se lleva a cabo sin ingerir bebidas con carbohidratos, probablemente por el equilibrio energético negativo durante esa parte del día y por la baja concentración de glucosa en sangre (Nieman et al., [2001](#)). Además, se sabe que el cortisol es catabólico tanto para el hueso como para el músculo, induciendo un mayor riesgo de fracturas por estrés y un mayor porcentaje de grasa corporal (Jenkins et al., [1989](#); Canalis, Mazziotti, Giustina, & Bilezikian, [2007](#); Dimitriou, Maser-Gluth, & Remer, [2003](#)). Es necesario plantearse la pregunta: ¿por qué habría de ejercitarse un atleta de tal forma que pierda músculo y hueso, si su objetivo es más bien disminuir los riesgos asociados con el ejercicio y mejorar su funcionamiento muscular? Sin embargo, la aplicación de la visión tradicional del equilibrio energético de 24 horas aumenta considerablemente esa posibilidad.

### **Termodinámica energética: la perspectiva microeconómica**

El equilibrio energético en los seres humanos es complejo, involucra muchos elementos en el lado de 'ingesta de energía' de la ecuación, como el tamaño y la frecuencia de las comidas, la calidad de la dieta y la absorción neta de los alimentos ingeridos. El otro lado de la ecuación, el gasto de energía, también debe considerar varios elementos, como la calidad de la dieta, el metabolismo, la actividad física, la frecuencia de las comidas y el efecto termogénico de los alimentos (Hall et al., [2012](#)).

Luego de considerar todos estos factores, se debe tomar también en cuenta el impacto del sistema endocrino, incluyendo la insulina, la leptina, la grelina y el péptido YY. Estos mecanismos de retroalimentación del equilibrio energético dificultan la alteración del peso simplemente con cambios en el suministro o el gasto de energía, pues 'el sistema' está hecho para mantener el cuerpo como está. Por ejemplo, mientras la leptina tiene el efecto de disminuir la ingesta de alimentos, aumentar el gasto energético, aumentar el catabolismo de las grasas,

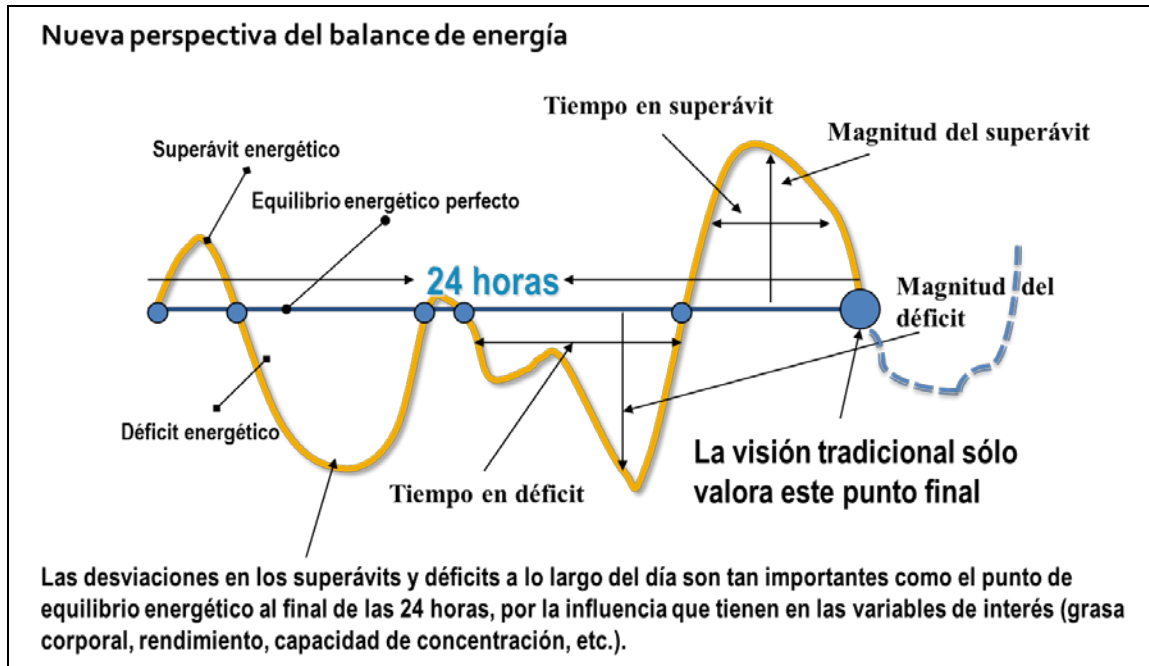
disminuir la glucosa plasmática y disminuir el peso corporal, la grelina tiene precisamente el efecto opuesto en cada una de estas áreas. Sin embargo, existen factores que podrían causar que la leptina y la grelina actúen de manera inesperada; también se sabe que al disminuir la frecuencia de las comidas se pueden tener un efecto inesperado sobre la leptina y la grelina. Las tendencias en la dieta que coinciden con la empujada curva del aumento en la obesidad incluyen porciones de alimentos más grandes, consumo de comidas rápidas con grasas escondidas y disminución de la frecuencia de las comidas (Koletzko & Toschke, [2010](#)). Todos los elementos anteriores tienen influencia sobre la grelina y la leptina: la disminución en la frecuencia de las comidas está asociada con un mayor consumo diario de energía, probablemente debido a la elevación del apetito o una tendencia a consumir más grasas (Viskaal-van Dongen, de Graaf, Siedelink, & Kok, [2009](#); Smith et al., [2010](#)). Viskaal-van Dongen et al. hallaron en un estudio con 57 participantes (estudio 1) y en otro con 51 participantes (estudio 2) que cuando la grasa está visible en las comidas la ingesta energética total es menor que cuando la grasa está escondida, debido a señales sensoriales alteradas ([2009](#)). Smith et al. encontraron que saltarse comidas tiene una influencia sobre la obesidad ([2010](#)), por consiguiente evaluaron una gran muestra de personas que normalmente no se saltaban el desayuno siendo niños o adultos (n = 1.359), personas que se saltaban el desayuno solamente en la infancia (n = 224), aquellas personas que solo se lo saltaban cuando adultos (n = 515), o quienes no desayunaban ni en la infancia ni siendo adultos (n = 86). Este último grupo, que evitó el desayuno por un tiempo prolongado, mostró valores significativamente superiores de insulina en ayunas, LDL sérico, y circunferencia de cintura. Estas diferencias persistieron aun después de ajustar según la calidad de la dieta.

También, se ha reportado que la ingesta energética aumentada asociada con la alimentación poco frecuente no se ve compensada por una mayor actividad, provocando un mayor nivel de grasa corporal (Franko et al., [2008](#); Berkey, Rockett, Gillman, Field, and Colditz, [2003](#)). Al estudiar niñas y jóvenes entre 9 y 19 años de edad durante 10 años, Franko et al. descubrieron que las participantes que consumieron 3 o más comidas durante varios días por semana tuvieron menores tasas de sobrepeso y obesidad en comparación con las que tenían una frecuencia de comidas menor ([2008](#)). Berkey et al. ([2003](#)), al estudiar una cohorte de más de 14.000 chicos y chicas encontraron que desayunar (esto es, tener una mayor frecuencia de alimentación) es una estrategia importante para evitar la obesidad.

Evitar la hiperinsulinemia es útil para controlar la hormona estimuladora del apetito, la grelina, ya sea mediante la prevención del hambre (que es un resultado directo de la alimentación poco frecuente y de un pobre equilibrio energético a lo largo del día) o evitar el consumo de alimentos de alto índice glicémico. Anderwalt et al. observaron que la grelina no se modifica en pacientes con diabetes tipo 2 luego del tratamiento con insulina, mientras que en las personas no diabéticas la elevación de la insulina sérica que ocurre después de la comida suprime la grelina y disminuye el apetito ([2003](#)). Mediante la evaluación de un pequeño grupo de varones, adultos jóvenes (n = 5), Solomon, Chambers, Jeukendrup, Toogood, & Blannin también encontraron que la caída posprandial de la grelina es probablemente el resultado de la elevación en la insulina, pero que dicha relación no existe cuando hay hiperinsulinemia asociada a la resistencia a la insulina ([2008](#)). Isacco et al. ([2010](#)) estudiaron a un grupo de 278 niños saludables franceses de edad escolar (entre 6 y 8 años de edad); descubrieron que tanto



el saltarse el desayuno como consumir bebidas azucaradas, mientras veían televisión fueron factores probables en los problemas de falta de supresión de la grelina, hiperinsulinemia, o ambos. También mostraron que estas conductas están relacionadas con valores significativamente mayores de IMC, sumatoria de cuatro pliegues, y circunferencia de la cintura.



*Figura 2.* Visión microeconómica del equilibrio energético. Elaborada por el autor. Nota: La medida común de equilibrio energético en un punto de las 24 horas no logra dar cuenta de las fluctuaciones en el balance de energía a lo largo del día; dichas desviaciones están relacionadas con diferencias en la composición corporal.

Una preocupación con la perspectiva macroeconómica del equilibrio energético es la suposición de que el balance de energía alcanzado al final de un período de 24 horas se mantuvo perfectamente durante las 24 horas anteriores. Sin embargo, como se muestra en la [Figura 2](#), existen picos y valles en el balance de energía a lo largo del día y se ha reportado que las amplias desviaciones del equilibrio energético perfecto se relacionan con un porcentaje de grasa corporal mayor, aun si se logra llegar al balance de energía al final del período de 24 horas. En un estudio con patinadoras artísticas y gimnastas de élite ( $n = 42$ , 15,5 años de edad promedio) y corredores de medio fondo y fondo ( $n = 20$ , edad promedio = 26,6 años), Deutz et al. (2000) encontraron que los grandes déficits energéticos en alguno de los grupos se correlacionaron con niveles significativamente más altos de grasa corporal (gimnastas:  $r = 0,508$ ;  $p < 0,001$  y corredores:  $r = 0,461$ ;  $p = 0,041$ ), a pesar de completar cada día en un estado relativamente bueno de equilibrio energético.

Recientemente, se hizo una evaluación de las patinadoras artísticas de la selección nacional de los EE. UU. ( $n = 10$ , edad promedio = 18,75 años), utilizando el programa NutriTiming® (NutriTiming LLC, Atlanta, GA)<sup>1</sup>, para calcular el equilibrio energético según el modelo microeconómico. Se encontró una correlación fuerte y estadísticamente significativa ( $r = 0,745$ ;  $p = 0,013$ ) entre las horas que pasaban en déficit energético superior a -400 kcal y el porcentaje de grasa corporal (Benardot, datos sin publicar, 2012). Cuanto más tiempo pasaron en un déficit severo de energía, tanto mayor fue el porcentaje de grasa corporal; cuanto más tiempo se mantuvieron en un balance de energía de  $\pm 400$  kcal, tanto menor fue el porcentaje de grasa. Es importante señalar que también se encontró que el equilibrio energético tradicional de 24 horas al final del día no mostró una asociación estadísticamente significativa con el porcentaje de grasa corporal. A este mismo grupo se le evaluó la densidad mineral ósea, así como la vitamina D y el cortisol en suero. Los valores elevados de cortisol sérico, que son una respuesta conocida al equilibrio energético negativo y a la baja concentración de glucosa en sangre, mostraron una correlación con una menor densidad ósea ( $r = -0,664$ ;  $p = 0,026$ ) y un mayor porcentaje de grasa corporal ( $r = 0,657$ ;  $p = 0,020$ ); la vitamina D no mostró una asociación significativa con dichas variables en este grupo de patinadoras de élite (Grages, 2013; Stafford, 2005). Un estudio con 12 niños entre los 8 y los 14 años de edad también encontró que el balance de energía de 24 horas obtenido al final del día no tuvo relación con el porcentaje de grasa corporal, mientras que el tiempo que pasaron en déficit energético sí mostró una asociación significativa directa ( $r = 0,914$ ;  $p < 0,001$ ) con la grasa corporal (Delfausse, 2012). Nuevamente, se observó que los niños que lograron pasar más tiempo durante el día con pequeñas desviaciones en el equilibrio energético eran más magros. En otro estudio se evaluó a un grupo de mujeres de mediana edad que se ejercitaban ( $n = 20$ ); se observó que la amenorrea estaba asociada con un mayor tiempo en estado catabólico ( $r = 0,463$ ;  $p = 0,04$ ), pero no con el balance de energía al final del día (Friel et al., 2011).

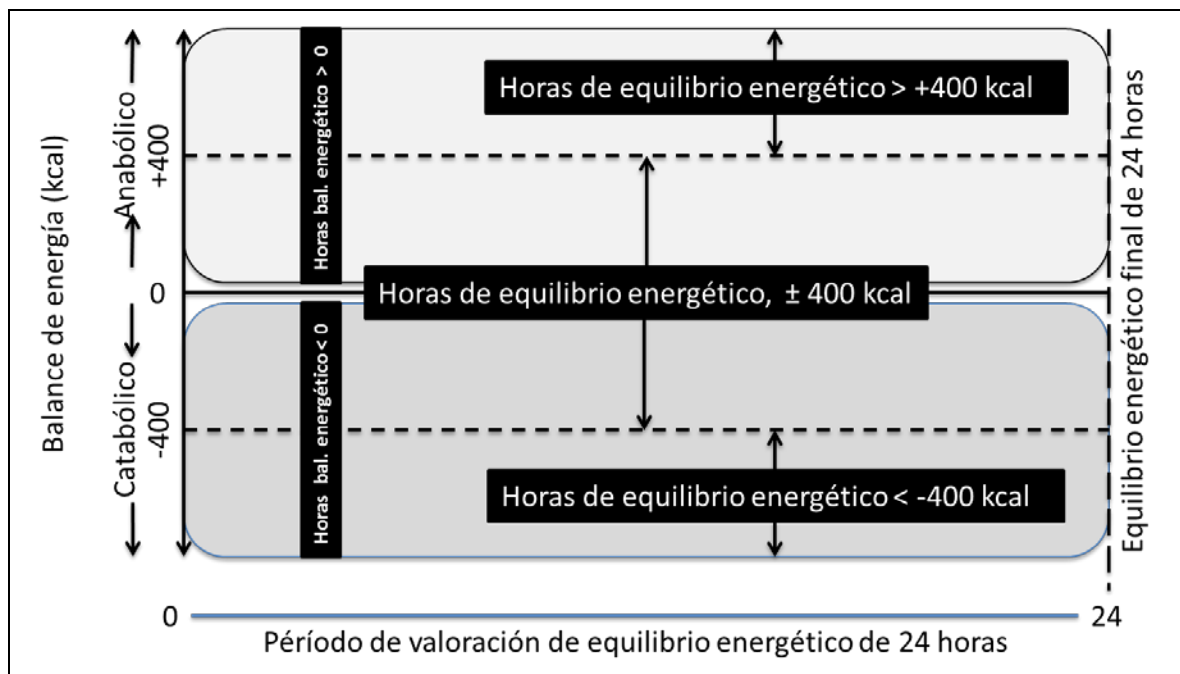
Una revisión reciente de estudios que evaluaron la relación entre la ingesta de proteína y la sarcopenia halló un resultado similar, sugiriendo que el mantener una ingesta estable de proteína de alta calidad (entre 25 y 35 gramos por comida), en intervalos estandarizados de 3 comidas diarias, es mucho más efectivo para conservar o aumentar la masa muscular que la ingesta de grandes cantidades de proteína al final del día (Paddon-Jones & Rasmussen, 2009). Por lo tanto se justifica hacer una reevaluación de la ingesta de proteína en atletas utilizando este modelo, pues pareciera que en muchos casos las ingestas relativamente altas de proteína superiores a 2 y 3  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ , podrían ser inadecuadas, cuando se toman en cuenta las tasas máximas de utilización de proteína por tiempo de comida ( $\sim 30\text{-}35$  g proteína). Las ingestas exageradamente altas de proteína y energía en una sola comida que se pueden observar en algunos atletas, a menudo por encima de 100 g de proteína y 4.000 kcal, son metabólicamente ineficientes y probablemente aumentarán la masa grasa en vez de la masa muscular. Una vez más, el modelo de 24 horas de ingesta y gasto de energía y nutrientes no logra aportar información óptima para la intervención.

---

<sup>1</sup> Declaración: el Dr. Benardot es el inventor de NutriTiming® (NutriTiming.com y Apple App Store). También es el consultor científico de NutriTiming LLC.

## Conclusión

Los estudios de balance de energía y sustratos energéticos a lo largo del día, aunados a la pobre capacidad predictora del modelo tradicional de equilibrio energético de 24 horas, sugieren que debería utilizarse un nuevo modelo de balance energético para todo el día (ver [Figura 3](#)). En este se considera tanto el tiempo que uno pasa en estado de balance energético catabólico y anabólico, como la magnitud de los déficits y superávits, para predecir los cambios en la composición corporal y, en última instancia, el peso. Es importante señalar que al incorporar el tiempo que la persona pasa en distintas zonas de equilibrio energético, este modelo podría ser más útil para predecir la respuesta endocrina a los excesos e insuficiencias de energía. Los profesionales que se desempeñan en la nutrición deportiva pueden crear sus propios métodos prácticos para aplicar este modelo, o bien utilizar los recursos existentes para ese propósito.



*Figura 3.* Un nuevo modelo para la valoración del equilibrio energético.  
Elaborada por el autor. Nota: 400 kcal = 1.674 kJ

Este modelo también permite tomar en cuenta el siguiente concepto importante de los desequilibrios energéticos: la reacción del cuerpo a una ingesta inadecuada de energía es reducir el tejido que requiere energía. Esta es una adaptación fisiológica perfectamente lógica al suministro inadecuado de combustible que, sin embargo, disminuye la capacidad de mejoría que tiene un atleta. Idealmente, debería existir una relación dinámica entre la necesidad de energía y nutrientes, por un lado, y el suministro de energía y nutrientes, por el otro, de manera que se puedan alcanzar niveles óptimos de composición corporal, peso y rendimiento.

## Referencias

- Anderwald, C., Brabant, G., Bernroider, E., Horn, R., Brehm, A., Waldhäusl, W. & Roden, M. (julio, 2003). Insulin-dependent modulation of plasma ghrelin and leptin concentrations is less pronounced in type 2 diabetic patients. *Diabetes*, 52(7), 1792-1798. doi: [10.2337/diabetes.52.7.1792](https://doi.org/10.2337/diabetes.52.7.1792)
- Benardot, D. (julio/agosto, 2007). Timing of energy and fluid intake: New concepts for weight control and hydration. *ACSM Health & Fitness Journal*, 11(4), 13-19. doi: [10.1249/01.FIT.0000281226.23643.de](https://doi.org/10.1249/01.FIT.0000281226.23643.de)
- Berkey, C. S., Rockett, H. R. H., Gillman, M. W., Field, A. E. & Colditz, G. A. (2003). Longitudinal study of skipping breakfast and weight change in adolescents. *International Journal of Obesity*, 27, 1258-1266. doi: [10.1038/sj.ijo.0802402](https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0802402)
- Bertelsen, J., Christiansen, C., Thomsen, C., Poulsen, P.L., Vestergaard, S., Steinov, A., Hermansen, K. (enero, 1993). Effect of meal frequency on blood glucose, insulin, and free fatty acids in NIDDM subjects. *Diabetes Care*, 16(1), 4-7. Recuperado de <http://care.diabetesjournals.org/content/16/1/4.full.pdf>
- Blom, W. A .M., Stafleu, A., de Graaf, C., Kok, F. J., Schaafsma, G., & Hendriks, H. F. J. (febrero, 2005). Ghrelin response to carbohydrate-enriched breakfast is related to insulin. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(2), 367-375. Recuperado de <http://ajcn.nutrition.org/content/81/2/367.abstract#fn-1>
- Burke, L. M. (2001). Energy needs of athletes. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 26(suppl), S202-S219. doi: [10.1139/h2001-055](https://doi.org/10.1139/h2001-055)
- Canalis, E., Mazziotti, G., Giustina, A., & Bilezikian, J. P. (2007). Glucocorticoid-induced osteoporosis: pathophysiology and therapy. *Osteoporosis International*, 18(10), 1319–1328. doi: [10.1007/s00198-007-0394-0](https://doi.org/10.1007/s00198-007-0394-0)
- Cohn, C., Berger, S., & Norton, M. (febrero, 1968). Relationship between meal size and frequency and plasma insulin response in man. *Diabetes*, 17(2), 72-75. doi: [10.2337/diab.17.2.72](https://doi.org/10.2337/diab.17.2.72)
- Delfausse, L. (2012). *Within-Day Energy Balance in Children and Adolescents*. (Tesis de maestría no publicada). Georgia State University, U.S.A.
- Deutz, B., Benardot, D., Martin, D., & Cody, M. M. (marzo, 2000). Relationship between energy deficits and body composition in elite female gymnasts and runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32(3), 659-668. Recuperado de [http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/2000/03000/Relationship\\_between\\_energy\\_deficits\\_and\\_body.17.aspx](http://journals.lww.com/acsm-msse/Abstract/2000/03000/Relationship_between_energy_deficits_and_body.17.aspx)
- Dimitriou, T., Maser-Gluth, C., & Remer, T. (marzo, 2003). Adrenocortical activity in healthy children is associated with fat mass. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 77(3) 731–736. Recuperado de <http://ajcn.nutrition.org/content/77/3/731.short>
- Evans, D. J., Hoffman, R. G., Kalkhoff, R. K., & Kissebah, A. H. (enero, 1984). Relationship of body fat topography to insulin sensitivity and metabolic profiles in premenopausal women. *Metabolism*, 33(1), 68-75. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0026049584901641>
- Fáibry, P. & Tepperman, J. (agosto, 1970). Meal frequency - A possible factor in human pathology. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 23(8), 1059-1068. Recuperado de <http://ajcn.nutrition.org/content/23/8/1059.short>
- Felig, P. & Wahren, J. (diciembre, 1971). Amino acid metabolism in exercising man. *The Journal of Clinical Investigation*, 50(12), 2703-2714. doi: [10.1172/JCI106771](https://doi.org/10.1172/JCI106771).
- Fogtelloo, A. J., Pijl, H., Roelfsema, F., Frölich, M. & Meinders, A. E. (2004). Impact of meal time and frequency on the twenty-four-hour leptin rhythm. *Hormone Research in Pediatrics*, 62, 71-78. doi: [10.1159/000079326](https://doi.org/10.1159/000079326)

- Franko, D. L., Striegel-Moore, R. H., Thompson, D., Affenito, S. G., Schreiber, G. B., Daniels, S. R., & Crawford, P. B. (2008). The relationship between meal frequency and body mass index in black and white adolescent girls: More is less. *International Journal of Obesity*, 32, 23-29. [doi:10.1038/sj.ijo.0803654](https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803654)
- Friel, A., & Benardot, D. (2011). The relationship between within-day energy balance and menstruation in active females. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(5): s68. (Abstract).
- Grages, M. (2013). *National Team Figure Skaters: Poor Energy Balance and Blood Sugar Maintenance Associated with Lower Bone Density and Higher Body Fat*. (Tesis de maestría sin publicar). Georgia State University, U.S.A.
- Haase, A. M., Prapavessis, H. & Owens, R. G. (2002). Perfectionism, social physique anxiety and disordered eating: a comparison of male and female elite athletes. *Psychology of Sport and Exercise*, 3(3), 209-222. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1469029201000188?np=y>
- Hall, K. D., Heymsfield, S. B., Kemnitz, J. W., Klein, S., Schoeller, D. A., & Speakman, J. R. (2012). Energy balance and its components: implications for body weight regulation. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95(4), 989-994. [doi: 10.3945/ajcn.112.036350](https://doi.org/10.3945/ajcn.112.036350)
- Hawley, J. A. & Burke, L. M. (abril, 1997). Effect of meal frequency and physical performance. *British Journal of Nutrition*, 77 (supplement 01), S91-S103. [doi: http://dx.doi.org/10.1079/BJN19970107](http://dx.doi.org/10.1079/BJN19970107)
- Hubbard, R. W., Szlyk, P. C., & Armstrong, L. E. (1990). Influence of thirst and fluid palatability on fluid ingestion during exercise. En C. V. Gisolfi, and D. R. Lamb (Eds.). *Fluid Homeostasis During Exercise*. (pp. 39-95).
- Isacco, L., Lazaar, N., Ratel, S., Thivel, D., Aucouturier, J., Doré, E., . . . Duché, P. (2010). The impact of eating habits on anthropometric characteristics in French primary school children. *Child: Care, Health and Development*, 36(6), 835-842. [doi: 10.1111/j.1365-2214.2010.01113.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2214.2010.01113.x)
- Iwao, S., Mori, K., & Sato, Y. (1996). Effects of meal frequency on body composition during weight control in boxers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 6(5), 265-272. [doi: 10.1111/j.1600-0838.1996.tb00469.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.1996.tb00469.x)
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Vuksan, V., Brighenti, F., Cunnane, S. C., Rao, A. V., . . . Josse, R. (octubre, 1989). Nibbling versus gorging: metabolic advantages of increased meal frequency. *New England Journal of Medicine*, 321(14), 929-934. [doi:10.1056/NEJM198910053211403](https://doi.org/10.1056/NEJM198910053211403)
- Knerr, I., Gröschl, M., Rascher, W., & Rauh, M. (2003). Endocrine effects of food intake: Insulin, ghrelin, and leptin responses to a single bolus of essential amino acids in humans. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 47, 312-313. [doi: 10.1159/000072405](https://doi.org/10.1159/000072405)
- Koletzko, B., & Toschke, A. M. (febrero, 2010). Meal patterns and frequencies: Do they affect body weight in children and adolescents? *Critical Reviews in Food Science*, 50(2), 100-105. [doi: 10.1080/10408390903467431](https://doi.org/10.1080/10408390903467431)
- Krane, V., Waldron, J., Stiles-shiple, J. A. & Michalenok, J. (2001). Relationships among body satisfaction, social physique anxiety, and eating behaviors in female athletes and exercisers. *Journal of Sport Behavior*, 24(3). Accession No. 77384743. Recuperado de <http://www.biomedsearch.com/article/Relationships-Among-Body-Satisfaction-Social/77384743.html>
- Leibel, R. L., Rosenbaum, M. & Hirsch, J. (marzo, 1995). Changes in energy expenditure resulting from altered body weight. *New England Journal of Medicine*, 332(10), 621-628. [doi: 10.1056/NEJM199503093321001](https://doi.org/10.1056/NEJM199503093321001)



- Maughan, R. J. & Noakes, T. D. (1991). Fluid replacement and exercise stress. A brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sports Medicine*, 12(1), 16-31. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.2165/00007256-199112010-00003#page-2>
- Melby, C. M. & Hickey, M. (2005). Energy balance and body weight regulation. *Sports Science Exchange*, 18 (4), 1-6. Recuperado de [http://www.uni.edu/dolgener/UG\\_Sport\\_Nutrition/Articles/Energy\\_Balance.pdf](http://www.uni.edu/dolgener/UG_Sport_Nutrition/Articles/Energy_Balance.pdf)
- Nieman, D. C., Henson, D. A., Smith, L.L., Utter, A. C., Vinci, D. M., Davis, J. M., & Shute, M. (julio, 2001). Cytokine changes after a marathon race. *Journal of Applied Physiology*, 91(1), 109–114. Recuperado de <http://jap.physiology.org/content/91/1/109.abstract>
- Paddon-Jones, D. & Rasmussen, B. B. (2009). Dietary protein recommendations and the prevention of sarcopenia. *Current Opinion in Clinical Metabolic Care*, 12(1), 86-90. doi: [10.1097/MCO.0b013e32831cef8b](https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32831cef8b)
- Peiris, A. N., Mueller, R. A., Smith, G. A., Struve, M. F., & Kissebah, A. H. (diciembre, 1986). Splanchnic insulin metabolism in obesity. Influence of body fat distribution. *The Journal of Clinical Investigation*, 78(6), 1648-1657. doi: [10.1172/JCI112758](https://doi.org/10.1172/JCI112758)
- Saad, M. F., Bernaba, B., Hwu, C-M., Jinagouda, S., Fahmi, S., Kogosov, E., & Boyadjian, R. (agosto, 2002). Insulin regulates plasma ghrelin concentration. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 87(8), 3997-4000. doi: [10.1210/jc.87.8.3997](https://doi.org/10.1210/jc.87.8.3997)
- Saltzman, E. & Roberts, S. B. (agosto, 1995). The role of energy expenditure in regulation: findings from a decade of research. *Nutrition Reviews*, 53(8), 209-220. doi: [10.1111/j.1753-4887.1995.tb01554.x](https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1995.tb01554.x)
- Smith, K., Gall, S., McNaughton, S. A., Blizzard, L., Dwyer, T., & Venn, A. J. (octubre, 2010). Skipping breakfast: Longitudinal associations with cardiometabolic risk factors in the Childhood Determinants of Adult Health Study. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92, 1316-1325. doi: [10.3945/ajcn.2010.30101](https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.30101)
- Solomon, T. P. J., Chambers, E., Jeukendrup, A., Toogood, A. A., & Blannin, A. K. (octubre, 2008). The effect of feeding frequency on insulin and ghrelin responses in human subjects. *British Journal of Nutrition*, 100(4), 810-819. doi: <http://dx.doi.org/10.1017/S000711450896757X>
- Stafford, D. E. J. (junio, 2005). Altered hypothalamic-pituitary-ovarian axis function in young female athletes. *Treatments in Endocrinology*, 4(3):147-154. Recuperado de <http://link.springer.com/article/10.2165/00024677-200504030-00003>
- Toshinai, K., Mondal, M. S., Nakazato, M., Date, Y., Murakami, N., Kojima, M., . . . Matsukura, S. (marzo, 2001). Up regulation of ghrelin expression in the stomach upon fasting, insulin-induced hypoglycemia, and leptin administration. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 281(5), 1220–1225. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006291X01945188?np=y>
- Viskaal-van Dongen, M. V., de Graaf, C., Siedelink, E. & Kok, F. J. (febrero, 2009). Hidden fat facilitates passive overconsumption. *Journal of Nutrition*, 139(2), 393-399. doi: [10.3945/jn.108.096123](https://doi.org/10.3945/jn.108.096123)
- Vardar, E., Vardar, S. A., & Kurt, C. (abril, 2007). Anxiety of young female athletes with disordered eating behaviors. *Eating behaviors*, 8(2), 143-147. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147101530600016X>
- Wing, R. R. & Phelan, S. (julio, 2005). Long-term weight loss maintenance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(Suppl.1), 222S-225S. Recuperado de <http://ajcn.nutrition.org/content/82/1/222S.abstract>



Esta obra está bajo una

[licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Costa Rica.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/cr/)