



Análisis de ecuaciones de determinación del gasto energético basal y/o en reposo que incluyen la variable masa libre de grasa, en población adulta físicamente activa

Lida Marcela Caicedo Torres

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Medicina
Departamento de Ciencias fisiológicas
División de Fisiología
Bogotá, Colombia
2019

Análisis de ecuaciones de determinación del gasto energético basal y/o en reposo que incluyen la variable masa libre de grasa, en población adulta sana físicamente activa

Lida Marcela Caicedo Torres

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Fisiología

Directora:

PhD, MSc, Nutricionista Ligia Stella Guerrero Orjuela
Profesora Departamento Nutrición Humana

Codirectora:

MSc, Esp, Nutricionista Johanna Xiomara Uribe Bustos
Profesora Departamento Nutrición Humana

Línea de Investigación:

Alimentación y Promoción de la salud

Grupo de Investigación: Alimentación y Nutrición Humana

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Medicina

Departamento de Ciencias Fisiológicas

División de Fisiología

Bogotá, Colombia

2019

A Dios que dispone todas las cosas de manera perfecta.

A mis padres, que son el pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, que me han dado todo para ser la persona que soy actualmente, los valores y principios, la perseverancia y el empeño; todo ello de una manera desinteresada y llena de amor.

A mi hermano que ha sido mi apoyo incondicional siempre.

A mis amigos y todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo.

Resumen

Introducción: Un equilibrio óptimo entre la ingesta y el gasto de energía es crucial para el rendimiento en la actividad física especialmente en deportistas y/o alto entrenamiento, obtener las estimaciones del Gasto Energético en Reposo (GER) y/o Gasto Energético Basal (GEB) de forma práctica, sencilla y cercana al Gold Standard (Calorimetría Indirecta) es fundamental para asegurar el cumplimiento de las metas en las intervenciones dietéticas y deportivas. Se asume que el GER/GEB es mayor en atletas y/o personas físicamente muy activas derivado de su masa libre de grasa (MLG) comparado con personas que realizan actividad física moderada o leve.

Objetivo: Explorar en la literatura cuáles de las ecuaciones de predicción que emplean la variable Masa Libre de Grasa tiene una predicción más cercana al Gold Estándar (Calorimetría Indirecta) para el cálculo de Gasto Metabólico en Reposo y/o Basal en personas físicamente activas.

Tipo de estudio: Revisión narrativa de tipo cualitativo.

Metodología: Se realizó la búsqueda de artículos científicos en 4 bases de datos: Pubmed (MEDLINE), Web of Science, Cochrane y el buscador de la Universidad Nacional de Colombia con palabras términos MeSH y términos libres con la siguiente ecuación de búsqueda.(((("Athletes"[Mesh] OR "Sports"[Mesh]) OR "Exercise"[Mesh]) AND (("prediction equation"[All Fields] OR "Cunningham equation"[All Fields] OR "Prediction formulas"[All Fields]) AND "lean body mass"[All Fields] OR "fat free mass"[All Fields] OR "body composition "[Mesh])) AND ("Basal Metabolism"[Mesh] OR "Energy Intake"[Mesh] OR "Energy expenditure"[All Fields] OR "basal metabolic rate"[All Fields] OR "resting metabolic rate (RMR)"[All Fields]) AND ("2009/05/29"[PDat]: "2019/01/01"[PDat] AND

"humans"[MeSH Terms]) AND "Calorimetry, Indirect"[Mesh]) y filtro de edad de 19 a 65 años.

Se encontraron 49 artículos de los cuales se seccionaron 10 de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión que se establecieron y de acuerdo al objetivo de la investigación, con el propósito de determinar cuáles de las ecuaciones de predicción se pueden utilizar en la práctica deportiva y de esta forma generar recursos bibliográficos para futuras investigaciones experimentales.

Resultados: En la revisión de la literatura se encontró que algunas ecuaciones de predicción como la propuesta por Cunningham 1991 , Harris- Benedict, De Lorentz, Owen, FAO-OMS-ONU y Mifflin-St. Jeor, fueron analizadas en población físicamente activa, mostrando una predicción cercana a la Calorimetría Indirecta; considerada el método de referencia, lo cual válida emplear dichas ecuaciones como un método alternativo, práctico y económico para la estimación del GER/GEB.

Conclusiones: Existe evidencia científica que el GER/GEB se puede determinar con precisión en personas adultas sanas y físicamente activas, empleando diferentes ecuaciones de predicción que incluyen cálculos de composición corporal específicamente el correspondiente a la Masa Libre de Grasa (MLG), de la misma manera los estudios sugieren tener en cuenta el tipo de actividad física pues los resultados puede variar significativamente entre deportistas de alto rendimiento con respecto a deportistas recreativos.

Palabras clave: (Metabolismo basal, Composición corporal, Gasto de energía, Atletas).

Abstract

Background: An optimal balance between intake and energy expenditure is crucial for the performance in physical activity especially in athletes and / or high training, obtaining the benefits of Resting Energy Expenditure (RRE) in a practical, simple and close to the Gold Standard (Indirect Calorimetry) is essential to ensure compliance with the goals in the dietetics and sports. It is assumed that resting energy expenditure (RRE) is higher in athletes and / or physically very active people in their fat-free mass (FFM).

Purpose: To explore in the literature of the prediction equations that use the Fat Free Mass variable has a prediction closer to the Standard Gold (Indirect Calorimetry) for the calculation of Metabolic Expenditure at Rest and / or Baseline in physically active people.

Type of study: Qualitative type narrative review.

Methodology: The search of scientific articles was carried out in 4 databases: Pubmed (MEDLINE), Web of Science, Cochrane and the search engine of the Universidad Nacional de Colombia with words MeSH terms and free terms with the following search equation. (((("Athletes"[Mesh] OR "Sports"[Mesh]) OR "Exercise"[Mesh]) AND (("prediction equation"[All Fields] OR "Cunningham equation"[All Fields] OR "Prediction formulas"[All Fields]) AND "lean body mass"[All Fields] OR "fat free mass"[All Fields] OR "body composition "[Mesh])) AND ("Basal Metabolism"[Mesh] OR "Energy Intake"[Mesh] OR "Energy expenditure"[All Fields] OR "basal metabolic rate"[All Fields] OR "resting metabolic rate (RMR)"[All Fields]) AND ("2009/05/29"[PDat]: "2019/01/01"[PDat] AND "humans"[MeSH Terms]) AND "Calorimetry, Indirect"[Mesh]) and age filter from 19 to 65 years.

49 articles were found of which 10 were sectioned according to the inclusion and exclusion criteria that were established and according to the objective of the investigation. With the purpose of determining which of the prediction equations can be used in sports practice and thus generate bibliographic resources for future experimental research.

Results: In the literature review it was found that some prediction equations such as the one proposed by Cunningham 1991, Harris-Benedict, De Lorentz, Owen, FAO-WHO-UN and Mifflin-St. Jeor, they were analyzed in a physically active population, showing a prediction close to Indirect Calorimetry; considered the reference method, which valid to use these equations as an alternative, practical and economical method for estimating the GER / GEB.

Conclusions: There is scientific evidence that the RRE can be accurately determined in healthy and physically active adults, using different prediction equations that include calculations of body composition specifically corresponding to Fat Free Mass (FFM), of the same In this way, studies suggest taking into account the type of physical activity, since the results can vary significantly among high-performance athletes with respect to recreational athletes.

Keywords: (Basal metabolism, Body composition, Energy expenditure, Athletes).

Contenido

	Pág.
Resumen	IV
Lista de Figuras	X
Lista de Abreviaturas	XII
Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Justificación	5
1. Capítulo 1. Marco conceptual	8
1.1 Termometría en los seres vivos	8
1.2 Recorrido Histórico	9
1.2.1 Siglo XVI- Siglo XIX	9
1.2.2 Siglo XX- Siglo XXI	14
1.3 Gasto Energético	16
1.4 Gasto Metabólico Basal / Reposo	17
1.4.1 Métodos para la determinación del GER/GEB	19
1.4.1.1 Calorimetría Directa (CD)	20
1.4.1.2 Calorimetría Indirecta (CI)	20
1.4.1.3 Métodos Estimativos	22
1.4.1.3.1 Ecuaciones de Predicción (EP)	22
1.5 Composición Corporal	23
1.5.1 Nivel Atómico	23
1.5.2 Nivel Molecular	24
1.5.2.1 Modelo de composición corporal de dos compartimentos (2C):	24
1.5.2.2 Modelo de tres compartimentos (3C):	24
1.5.2.3 Modelo de cuatro compartimentos (4C)	24
1.5.3 Nivel Celular	25
1.5.4 Nivel de tejido/ órganos	25
1.5.5 Métodos para valorar el tamaño y la composición corporal	26

1.5.5.1 Valoración Directa	26
1.5.5.2 Valoración indirecta	26
1.5.5.2.1 Antropometría	26
1.5.5.2.2 Análisis de Impedancia Bioeléctrica (BIA)	26
1.5.5.2.3 Métodos de laboratorio Hidrodensitometría [pesaje submarino (UWW)]	27
1.5.5.2.5 Absorciometría Dual de rayos X de Doble Energía (DXA)	27
1.6 Actividad Física, Deporte y Ejercicio	27
1.6.1 Instrumentos de medición de la actividad física	29
1.6.2 Nivel de intensidad de la actividad física	31
1.6.2.1 Frecuencia cardíaca en el entrenamiento (FEC):	31
1.6.2.2 El equivalente metabólico(MET)	31
1.6.2.3 La escala del esfuerzo percibido (EEP):	32
1.6.3 Determinación de gasto metabólico en actividad física	32
2 Capítulo 2. Objetivos	34
2.1 Objetivo General	34
2.2 Objetivos Específicos	34
3 Capítulo 3. Marco Metodológico	35
3.1 Tipo de estudio	35
3.2 Pregunta de investigación con estrategia PICO	35
3.3 Estrategia de búsqueda	36
3.4 Criterios de elegibilidad de artículos	38
4 Capítulo 4. Resultados	53
5 Capítulo 5. Discusión	67
6 Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones	75
6.1 Conclusiones	75
6.2 Recomendaciones	76
7 Capítulo 7. Consideraciones	77
□ Consideraciones Éticas	77
Anexos	78
A. Anexo: Análisis de regresión de predictores de GER/GEB	78
Referencias	79

Lista de Figuras

Figura 1. Tipos principales de calorímetros indirectos, abiertos y cerrados.....	11
Figura 2. Dos tipos principales de calorímetros directos, adiabáticos e isotérmicos.....	13
Figura 3. Intercambio de calor en humanos como se entendió a principios del siglo XX..	14
Figura 4. Resumen método de selección de estudios incluidos en esta revisión.....	52
Figura 5. Medidas de resultado para las ecuaciones predictivas de GER/GEB para hombres y mujeres (A) Porcentaje sesgo (SD), (B) porcentaje de predicciones GER precisas y (C) Error cuadrático medio de raíz (MJ / día).	59
Figura 6. EP vs CI estudio asiático	60
Figura 7. Comparación de EP de Cunningham y Harris – Benedict vs CI en hombres y mujeres.....	62

Lista de Tablas

Tabla 1. Variables para determinación del GEB/GER.....	18
Tabla 2. Ecuaciones de Predicción del GER/GEB.....	23
Tabla 3. Métodos para la medición de la AF en Colombia.....	30
Tabla 4. Estrategia PICO.....	36
Tabla 5. Descriptores usados en la búsqueda.....	37
Tabla 6. Número total de artículos encontrados por base de datos.....	38
Tabla 7. EP del GER/GEB utilizadas en el estudio de Jagim.....	54
Tabla 8. Comparación de EP vs CI en hombres.....	54
Tabla 9. Comparación de EP del GER/GEB vs CI en mujeres.....	55
Tabla 10. Resultados del análisis de regresión entre el GEB/ GER medido y pronosticado en hombres.....	55
Tabla 11. Resultados del análisis de regresión entre el GEB/ GER medido pronosticado en mujeres.....	56
Tabla 123. Ecuación MGL propuesta por Cunningham.....	57
Tabla 13. EP del GER/GEB usadas en el estudio de Haaf y Weijs.....	57
Tabla 145. EP basada en MLG desarrollada por Ten Haaf & Weijs.....	58
Tabla 15. EP del GER/ GEB del estudio Brasil.....	61
Tabla 16. Características de la población, EP usadas en el estudio y composición corporal.....	64
Tabla 17. EP de GER/GEB para hombres y mujeres de edad 18-30 años incluidos en el estudio.....	65
Tabla 18. Comparación del GER/GEB estimado por CI y estimado mediante EP.....	66
Tabla 19. Estudios seleccionados sobre EP del GEB/GER en personas físicamente activas.....	67

Lista de Abreviaturas

Abreviatura	Término
ACT	Agua Corporal Total
AF	Actividad Física
BIA	Impedancia Bioeléctrica
CD	Calorimetría Directa
CI	Calorimetría Indirecta
DEXA	Absorciometría de Doble Energía Radiológica
ETA	Efecto Térmico de la Alimentación
EP	Ecuaciones de Predicción
FC	Frecuencia Cardíaca
GE	Gasto Energético
GEAF	Gasto Energético Ligado a la Actividad Física
GEB	Gasto Energético Basal
GER	Gasto Energético en Reposo
GETD	Gasto Energético Total Diario
MLG	Masa Libre de Grasa
MG	Masa Grasa
TE	Termogénesis Endógena
PAL	Nivel de Actividad Física (PAL: Physical Activity Level)
RMSE	Error Cuadrático Medio
QR	Cociente Respiratorio
VO2	Consumo De Oxígeno
VO2max	Consumo De Oxígeno Máximo

Introducción

Un equilibrio óptimo entre la ingesta y el gasto de energía es crucial para un adecuado estado de salud y un óptimo rendimiento durante la actividad física, obtener estimaciones del Gasto Energético Basal (GEB) o en reposo (GER) válidas y confiables es fundamental para establecer objetivos alcanzables durante las intervenciones dietéticas y deportivas. (Martínez-Sanz, Urdampilleta, & Mielgo-Ayuso, 2013) (Haaf & Weijs, 2014) (Jagim et al., 2018)

La estimación inexacta del GEB/GER puede llevar a una predicción no adecuada de los requerimientos energéticos, generando alteraciones en el balance energético en el individuo evaluado que puede llegar a afectar su composición corporal y a la vez el rendimiento deportivo. El GEB/ GER es el principal determinante del Gasto Energético Diario Total (GETD) en poblaciones sedentarias y según las cargas de entrenamiento esta contribución varía ampliamente en población físicamente activa. (Broad & Juzwiak, 2018)

El estándar de oro o patrón validado internacionalmente para determinar el GEB/GER es la medición por Calorimetría Indirecta (CI); sin embargo, no es el método empleado con mayor frecuencia debido a la limitada disponibilidad de los equipos y los altos costos. Por lo tanto, las ecuaciones predictivas se usan comúnmente como una opción alternativa. (Henry, 2005) (Redondo, 2015) (Broad & Juzwiak, 2018)

Las ecuaciones de predicción datan desde el año 1918 con la introducción de la fórmula de Harris–Benedict (Harris, J. A., & Benedict, 1918) y a lo largo de los años se han formulado ecuaciones para trabajar con personas sanas o con patologías, realizando la adaptación de dichas ecuaciones a diversos grupos de edad, etnias, diferentes características de peso y composición corporal (Pinheiro Volp, Esteves de Oliveira, Duarte

Moreira Alves, Esteves, & Bressan, 2011)(Hackney, 2016), así como también se han propuesto fórmulas para personas físicamente activas (Haaf & Weijjs, 2014); sin embargo, no hay un estándar de oro en las ecuaciones de predicción, pues variables como: la talla, el sexo, la edad o la composición corporal cambian en el planteamiento de cada ecuación según el autor de cada una de estas. (Flack, Siders, Ms, & Roemmich, 2016) (Mielgo-ayuso, Maroto-sánchez, Luzardo-socorro, & Palacios, 2015)

En personas físicamente activas especialmente deportistas como consecuencia de su relativamente elevada MLG, el GER/GEB está subestimado por la mayoría de las ecuaciones existentes. (Haaf & Weijjs, 2014); no obstante, hay evidencia en varios estudios en los que recomiendan el uso de ecuaciones de predicción como la de Harris-Benedict que incluye peso corporal total y la ecuación de Cunningham pues esta incluye en su estructura la variable MLG la cual es metabólicamente activa (Janice T, 1996) (American Dietetic Association, Dietitians of Canada, & American College of Sports Medicine, 2009) (Jagim et al., 2018).

El objetivo de esta revisión es explorar en la literatura científica las ecuaciones que existen de predicción del GER/GEB a nivel mundial que incluyen la variable MLG en población adulta sana físicamente activa y plantear la posibilidad del uso de alguna de estas ecuaciones en la población colombiana, pues no hay registros de revisiones acerca de esta temática en nuestro país.

Planteamiento del problema

A lo largo de los años la investigación científica ha permitido el desarrollo de instrumentos para la medición del gasto energético tales como: la calorimetría directa (CD) e indirecta (CI) (Kinney, 1992) (Henry, 2005)(Compher, Frankenfield, Keim, & Roth-Yousey, 2006) (Haugen, Chan, & Li, 2007) (Frankenfield, 2010) (Heymsfield, Bourgeois, & Thomas, 2017) (Archiza, Welch, & Sheel, 2017), con todo, estos métodos resultan ser muy costosos y en ocasiones de difícil acceso, por lo que se han propuesto numerosas ecuaciones de predicción para la determinación del gasto energético.(Janice T, 1996)

En el ámbito de la actividad física y el deporte, es importante determinar el gasto de energía adecuadamente para evitar pérdida de peso, bajo rendimiento y maximizar los efectos del entrenamiento. (Martínez-Sanz et al., 2013)

Se han utilizado ecuaciones de predicción del GEB/GER en personas físicamente activas, las cuales no fueron desarrolladas en una población similar, pero se sabe que en los sujetos físicamente activos, especialmente en deportistas, su composición corporal relacionada con la MLG es mayor con respecto a sujetos con niveles de actividad física menor, por ello algunos estudios recomiendan el uso de fórmulas que tengan en cuenta la composición corporal, pues esta variable como la talla, el sexo y la edad podría modificar la predicción de las ecuaciones.(Haaf & Weijs, 2014).

La MLG se considerada uno de los mejores predictores del GER/GEB. (Webb, 1981) (Ravussin, Lillioja, Anderson, Christin, & Bogardus, 1986) (Patil, Patkar, Mandlik, Kuswarkar, & Jindal, 2011) (Martínez-Sanz et al., 2013) (Murison, Johnstone, Rance, Speakman, & Duncan, 2018). Cunningham en 1980 desarrollo una ecuación que incluye

MLG, (Cunningham, 1991a), de otra parte De Lorenzo en 1999 postula la versión propia que incluye peso corporal total desarrollada específicamente en deportistas. (De Lorenzo A; Bertini I, 1999); sin embargo, otros estudios que no incluyen composición corporal muestran menor variabilidad en dicha determinación. (De et al., 2015)

De esta forma es necesario conocer la evidencia científica que existe hasta el momento del uso de estas ecuaciones de predicción que incluyen el componente de MLG en la población sana físicamente activa.

En la población colombiana no se conocen estudios que hayan validado hasta el momento alguna ecuación de predicción que contenga MLG contra el método de referencia (CI), con lo cual esta revisión monográfica constituye un punto de partida para el desarrollo de estudios experimentales que validen alguna de estas ecuaciones con las características de nuestra población, lo cual permite tomar mejores decisiones en el campo deportivo.

Justificación

Desde el punto de vista bioenergético la disponibilidad de energía se considera como el gasto de energía proveniente de la dieta que se usa en varios procesos fisiológicos fundamentales; como la termorregulación, el crecimiento, la reproducción, el mantenimiento celular, la inmunidad y la locomoción. La energía gastada en cada uno de estos procesos no está disponible para los otros. Por ese motivo la bioenergética analiza los efectos de la demanda metabólica de un sistema fisiológico en particular en términos de disponibilidad de energía, la cual se define como la ingesta de energía menos el gasto de esta. (Loucks, Kiens, & Wright, 2011).

Por ejemplo, en los experimentos que investigan el gasto energético durante la exposición al frío; se considera que la disponibilidad de energía, es la ingesta de energía menos el costo energético de la termogénesis. Para el caso particular del entrenamiento físico este aumenta la demanda energética, en los deportes de resistencia se puede duplicar o incluso cuadruplicar la cantidad de energía gastada en la locomoción; de esta forma, la disponibilidad de energía se define como la ingesta de energía menos la energía gastada en el ejercicio. La cantidad de energía ingerida restante después del entrenamiento físico es la utilizada para todos los demás procesos metabólicos, así la disponibilidad de energía es la entrada para los sistemas fisiológicos del cuerpo.(Loucks et al., 2011)

La importancia del estudio de los sistemas de producción energética, radica en el balance energético, considerando las variables que forman parte de este, el ingreso y la demanda. En los deportistas es transcendental la ingesta energética adecuada y completa de nutrientes, para mantener un peso corporal adecuado; especialmente la masa corporal magra. En contraste un balance energético negativo puede producir una reducción de masa corporal a expensas de masa corporal magra que a su vez conlleva a pérdida de fuerza. (Jagim et al., 2018)

La aplicación de las ciencias fisiológicas y la nutrición en la actividad física han tenido un aporte significativo a través de los años, pues su objetivo es mejorar el rendimiento deportivo, por medio de un aporte adecuado de energía; para cubrir las demandas de la actividad física, mantener el peso corporal, la reparación de tejidos y el balance del metabolismo corporal.(Olivos, Cristina; Cuevas, Ada; Alvarez, Veronica; Jorquera, 2012) (Martínez-Sanz et al., 2013) (Jagim et al., 2018)(Mielgo-ayuso et al., 2015).

Existe evidencia que muchos atletas, la mayoría femeninas se encuentran con deficiencia de energía, y especialmente la que proviene de la ingesta de carbohidratos lo que se traduce en problemas de salud y rendimiento deportivo (Loucks, 2004), no obstante, la evidencia muestra que el equilibrio energético no es el objetivo del entrenamiento, cuando los deportistas buscan modificar su tamaño y composición corporal para lograr los objetivos de rendimiento, en los que posteriormente requieren un régimen nutricional y de entrenamiento adecuado y riguroso para evitar comprometer su salud.(Loucks et al., 2011).

El estándar de oro o patrón validado internacionalmente para determinar el GEB/GER es la medición por Calorimetría Indirecta, pese a esto, no es el método más usado debido a la limitada disponibilidad de los equipos y los altos costos de la técnica. Por lo tanto, las ecuaciones predictivas se usan comúnmente como un método alternativo confiable. (Henry, 2005)(Redondo, 2015) (Broad & Juzwiak, 2018) .

El American College of Sport Medicine recomienda el uso de ecuaciones de predicción entre las ecuaciones de Harris-Benedict y la ecuación de Cunningham para la determinación del GEB/GER en deportistas, esta última incluye el componente MLG metabólicamente activo.(Jagim et al., 2018)(Janice T, 1996)(American Dietetic Association et al., 2009).

Algunas otras fuentes reportan el uso de la fórmula De Lorenzo la cual incluye entre sus variables área de superficie corporal, la cual se llevó acabo en 51 atletas masculinos (22 waterpolo, 12 judo, 17 karate) que practicaban el ejercicio regularmente al menos tres horas por día. (De Lorenzo A; Bertini I, 1999)(Haaf & Weijis, 2014)

Hasta el momento en el país no se ha encontrado investigaciones que analicen las ecuaciones existentes para la determinación GER/GEB que incluyen la variable MLG, especialmente sobre la ecuación de Cunningham, pues en varias regiones del mundo esta es la más utilizada para deportistas. Se hace necesario realizar esta revisión narrativa del estado del arte; para concentrar la información que se encuentra a nivel mundial de este tema; con el propósito de sugerir la realización a futuro de estudios experimentales para la validación de ecuaciones de predicción comparado con el patrón de referencia.

1. Capítulo 1. Marco conceptual

1.1 Termometría en los seres vivos

Desde el principio de la civilización el hombre ha estado interesado en conocer y estudiar la energía, específicamente el intercambio de esta, especialmente en la generación del calor corporal, este intercambio de energía es fundamental para la vida y la base en el estudio de la fisiología humana, el metabolismo y la nutrición. (Heymsfield et al., 2017)

Por más de 1500 años el calor fue el concepto central de la medicina Galénica conocido como calor “vital”, mostrando así que la vida se presentaba en un cuerpo cálido y al enfriarse se asociaba con la hora de la muerte. (John K, 1988)(Kinney, 1992)

Muchos han sido los investigadores que se dedicaron al estudio de estos fenómenos, hacia finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX el desarrollo del conocimiento y el progreso en el entendimiento de dichos fenómenos permitieron articular los conceptos de vida, consumo de sustratos y calor corporal. (John K, 1988)

1.2 Recorrido Histórico

Históricamente los aportes que se han realizado en torno al estudio del calor corporal datan de la época de *Hipócrates* (460–370 a.C.), quien plantea cuatro humores (bilis negra, bilis amarilla, sangre y flema) que dan origen al temperamento y la salud de una persona. Esta teoría avanzó en la idea de que la sangre tiene una fuerza vital, el calor innato, que alimenta todos los procesos metabólicos. (Heymsfield et al., 2017)

1.2.1 Siglo XVI- Siglo XIX

Sanctorius de Padua (1561–1636), determinó el peso corporal durante largos períodos de tiempo, cuantificando las pérdidas de agua insensibles (*perspiratio insensibilis*), estableciendo por primera vez los métodos de balance para el estudio del metabolismo. Los métodos de balance de masa se usaron posteriormente en los métodos de calorimetría. (Heymsfield et al., 2017)

Robert Boyle (1627– 1691), uno de los fundadores de la química moderna, publicó “The Sceptical Chymist” en 1661, descubrió el aire como soporte para la vida. (John K, 1988) realizando experimentos con un modelo de ratón en un caja sellada con una vela encendida y eliminó el aire usando un “motor neumático”. El ratón expiró y la vela se apagó aproximadamente al mismo tiempo, concluyo que se necesita el mismo elemento en el aire para soportar la combustión y la respiración. Posteriormente **Joseph Black** en 1754 descubre el aire “fijo”, el dióxido de carbono, como un producto de la respiración. (Heymsfield et al., 2017)

A **Joseph Priestley** (1733–1804) y **Carl Wilhelm Scheele** (1742–1786), se les atribuye el descubrimiento del “aire-aereus” o “aire puro” de Mayow, para este momento el aire ya no era visto como un elemento 'puro', como lo plantea el humerismo. (Heymsfield et al., 2017)

Antoine Lavoisier (1743–1794), concluyo que la respiración era en realidad una forma lenta de combustión pues el oxígeno descubierto previamente por **Priestley** era el soporte de esta combustión. (John K, 1988)(Taylor, Shephard, & Lindinger, 2018) Estos

experimentos dentro del marco de la calorimetría, postulan a la nutrición como disciplina científica hacia la segunda mitad del siglo XVIII.

Para 1755-1795 se introdujo la química neumática como principio de oxidación por la producción de calor a partir de este gas. (John K, 1988)(Taylor et al., 2018)

Pierre Simon Laplace y **Lavoisier** en 1783 desarrollaron un sistema de recolección de ácido carbónico y un calorímetro de hielo para cuantificar el oxígeno consumido, el dióxido de carbono producido y el calor liberado. Según estas evidencias el metabolismo, era una forma de combustión lenta que requiere oxígeno o "aire puro". (Heymsfield et al., 2017)

Lavoisier y **Armand Séguin** (1767–1835) examinaron los efectos del frío, los alimentos y el trabajo muscular sobre el consumo de "aire puro", la frecuencia del pulso y la respiración. Entre sus diversas observaciones, primero informaron sobre la "acción dinámica específica de los alimentos". **Lavoisier** y sus colaboradores expusieron los elementos claves de la calorimetría directa e indirecta, sin embargo; las mediciones de calor y dióxido de carbono no se realizaron al mismo tiempo, por lo que surgieron cuestionamientos sobre las condiciones antinaturales en el calorímetro del hielo. Por lo cual calorímetros similares se construyeron posteriormente por **César-Mansuète Despretz** (1791–1863) y **Pierre Louis Dulong** (1785–1838), empleando como modelo animal de estudio al conejo; estos autores hacia 1824 y 1838 informaron que se obtuvo simultáneamente aire respiratorio y la producción de calor que se midió con un baño de agua circundante. (Heymsfield et al., 2017)

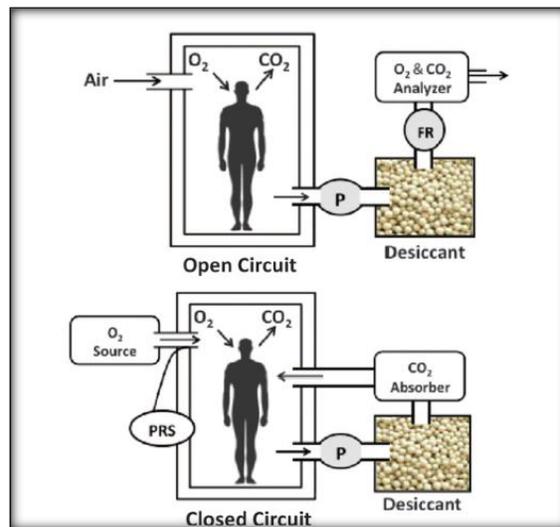
Para 1841, **Julius Von Mayer** (1814–1878) médico alemán enunció la Primera Ley de la Termodinámica, "*la energía no puede ser creada ni destruida*" en 1842, estableció que la oxidación, es la principal fuente de energía para los organismos vivos. La energía química se puede convertir en energía térmica, una base conceptual de la ecuación del balance energético y de la calorimetría. Por su parte **James Joule** (1818–1889) consideró que la energía mecánica también se puede convertir en calor. (Heymsfield et al., 2017)

El químico alemán **Justus von Liebig** (1803–1873) estudio cómo las proteínas, grasas y los carbohidratos de los alimentos experimentan transformaciones químicas tanto *in vitro* como en *in vivo*. Su hipótesis indicaba que el calor animal se mantenía

principalmente a partir de alimentos consumidos recientemente, realizó ensayos registrando el contenido calórico de proteínas, grasas y carbohidratos de diferentes alimentos. Su estudiante **Pettenkofer** en 1862 desarrollo el primer circuito abierto conocido como calorímetro Pettenkofe - Voit. (Figura 1) (Heymsfield et al., 2017)(John K, 1988)

Con calorímetros indirectos de circuito abierto, el sujeto respira el aire del ambiente el cual es medido ya sea en el lado de entrada o de salida del calorímetro, dependiendo en la configuración del sistema; el aire de salida se muestrea y analiza continuamente o en frecuencias variables para su posterior análisis. Con un medidor de gas y muestras de aire fueron analizados por dióxido de carbono y vapor de agua el peso de comida y agua, y el peso del sujeto más heces y las excreciones urinarias se cuantificaron en una escala al principio y final del experimento. El consumo de oxígeno (O) fue entonces calculado como la diferencia entre el peso basal del sujeto + alimentos y agua ingeridos y peso del sujeto post-estudio + orina + heces + dióxido de carbono + vapor de agua absorbido. Alimentos, orina, el carbono fecal (C) y el nitrógeno (N) fueron analizados por medios químicos. Pettenkofer con Karl von Voit (1831–1908), pudieron demostrar en conjunto con el método de balance C – N en 1866 que el metabolismo podría enmarcarse como la oxidación de proteínas, grasas y carbohidratos.(Heymsfield et al., 2017)

Figura 1. Tipos principales de calorímetros indirectos, abiertos y cerrados.

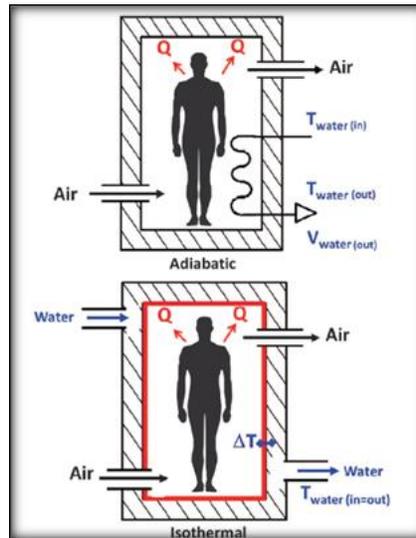


Tomado de: Heymsfield et al., 2017

Por su parte **Magnus-Levy** en 1899 acuñó el término *Grundumsatz* o "metabolismo basal" definido en este momento como el nivel más bajo de gasto de energía, que evidentemente no lo es, pues durante el sueño y en condiciones de desnutrición, el metabolismo puede ser inferior al observado bajo condiciones basales. Para evitar esta confusión, Krogh acuñó el término "metabolismo estándar". Para asegurar resultados comparables, y estableció que su medición debería tener las siguientes condiciones: sujeto totalmente descansado antes y durante las mediciones, acostado, en estado de vigilia, en ayuno de 10-12 horas, en condiciones controladas de temperatura (22-26 C°), en ausencia de infección y libre de estrés emocional. (Henry, 2005)(Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, 2011)

El fisiólogo alemán **Max Rubner** (1854–1932) propuso la "ley isodinámica" que estableció la cantidad de proteínas, grasas y carbohidratos necesarios para producir un rendimiento energético igual cuando se metaboliza *in vivo*, es decir la acción dinámica específica de los alimentos. (Figura 2) Construyó un calorímetro directo isotérmico para medir el intercambio de calor y lo combinó con una cámara respiratoria de Pettenkofer. (Heymsfield et al., 2017)(John K, 1988)(Henry, 2005). En 1894 expuso que la ley de conservación de la energía se aplica a los animales: la producción de calor calculada a partir del intercambio de gases estaba dentro de $\pm 1\%$ de la liberación de calor medido directamente y determinó que el metabolismo es proporcional al área de superficie corporal.(John K, 1988)

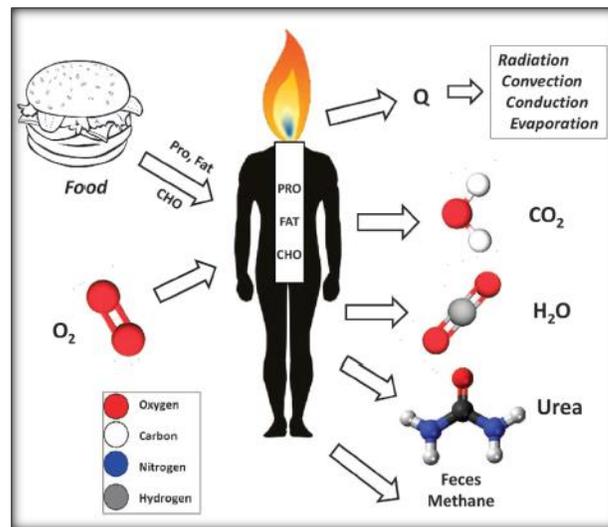
Figura 2. Dos tipos principales de calorímetros directos, adiabáticos e isotérmicos.



Tomado de: Heymsfield et al., 2017

Wilbur Olin Atwater y **Edward Bennett Rosa** construyeron un calorímetro adiabático para estudiar humanos entre 1893 y 1897, el calor producido por el sujeto conocido en la actualidad como la cámara *adiabática de Atwater* o calorímetro "disipador de calor". El sistema también incluía un calorímetro indirecto de circuito abierto **Pettenkoffer** con balance carbono-nitrógeno utilizado para el cálculo del calor. (Heymsfield et al., 2017). *Atwater* también estableció los valores de energía metabolizable para las proteínas de 4 kcal/g, grasas 9 kcal/g, carbohidratos 4 kcal/g y etanol 7 kcal/g. Abarcando dos pasos, primero corrigiendo el valor energético bruto del nutriente por "digestibilidad" o absorción neta y luego restando el contenido de energía de la urea no metabolizada a partir de las proteínas. (Figura 3) (Heymsfield et al., 2017)

Figura 3. Intercambio de calor en humanos como se entendió a principios del siglo XX



Tomado de: Tomado de: Heymsfield et al., 2017

1.2.2 Siglo XX- Siglo XXI

Para principios del **Siglo XX** ya se contaba con dos tipos de sistemas para evaluar el intercambio de energía en humanos. **Los calorímetros directos**, con dos diseños principales, el primero con sistemas isotérmicos y el segundo con sistemas adiabáticos que cuantifican la liberación de calor de un sujeto.(Henry, 2005). **Y los calorímetros indirectos**, con dos sistemas uno de circuito abierto y otro de circuito cerrado, que cuantifican también la producción de calor de un sujeto.(Heymsfield et al., 2017)(Henry, 2005)

Hasta mediados de la década de **1950** las pruebas para determinar el Gasto Energético Basal (GEB), se usaron de forma clínica, pues era la única medida confiable, en el diagnóstico de la disfunción de la tiroides, marcando de esta forma una nueva era en la medicina clínica. (John K, 1988)

En 1960 **J.M. Foy y H. Schneider** determinaron el agua corporal total mediante el método de dilución con tritio, por su parte **G.B. Forbes, J. Hursh y J. Gallup** en 1961 estimaron los contenidos grasos y magros utilizando un conteo de $^{40}\text{K}^+$ en todo el cuerpo. (Heymsfield et al., 2017)

J.A. Sorenson y J. R. Camerond desarrollaron en 1963 las bases teóricas de la Absorciometría Dual de Fotones (DPA) para la determinación de la composición corporal. Y en 1984 **R.B. Mazess, W.W. Pepler y M. Gibbons** desarrollaron DPA para las mediciones de la composición corporal total. En la actualidad ha sido reemplazada por absorciometría de rayos X de energía dual para análisis de los métodos multicompartimentos para la determinación de la composición corporal. Para el año 1990 este método fue aplicado y validado por primera vez por **Heymsfield y sus colegas** sobre el análisis de activación de neutrones *in vivo* como referencia para la grasa corporal y las proteínas corporales. (Heymsfield et al., 2017)

Bedale en la primera parte del siglo XX describió el primer estudio para determinar Gasto Energético Total (GET) en población sana como base para estimar los requerimientos de energía humana en un grupo de 45 niños y 55 niñas de 7 a 18 años, pues los valores de referencia que se tenían hasta el momento estaban basado en estudios realizado en población con enfermedades de la tiroides. (Henry, 2005) Estos estudios fueron retomados hacia 1985 por la **Organización para la Agricultura y la Alimentación** (FAO), la **Organización Mundial de la Salud** (OMS) y la **Organización de Naciones Unidas** (ONU) (Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, 2011)

Este panorama histórico pone en evidencia que el intercambio de energía en sistemas biológicos tuvo su auge en gran parte a principios del siglo XX. Se evidencia que las leyes de termodinámica se pueden aplicar en animales y seres humanos con métodos de medición y que en la actualidad se encuentran en uso. (Heymsfield et al., 2017). Con el desarrollo de la ciencia, la investigación actual se centra en la búsqueda de reguladores genéticos, epigenéticos del intercambio de energía y sus interacciones en animales y humanos; sin embargo, aún existen brechas en el conocimiento respecto del contenido óptimo de energía y macronutrientes de la dieta en individuos y poblaciones específicas como por ejemplo las personas físicamente activas, gestantes y adultos mayores, entre otros. El papel de la investigación en esta área del conocimiento constituye un logro para

la consecución de nuevos y mejores métodos de medición del gasto energético para poblaciones específicas. (Heymsfield et al., 2017)

1.3 Gasto Energético

La energía metabolizable, es la energía química presente en los enlaces de las moléculas de los nutrientes energéticos absorbidos. Esta energía se genera como parte de los procesos de oxidación celular obteniéndose como productos el Adenosin Trifosfato (ATP) y calor. El ATP en su molécula de fosfato contiene enlaces de alta energía, la cual utiliza la célula para llevar a cabo sus funciones específicas. De este proceso el 40-50% de la energía química de los alimentos se disipa en forma de calor, el porcentaje restante en forma de ATP se utiliza para la contracción muscular, el mantenimiento de los gradientes iónicos a través de las membranas y las síntesis de nuevas moléculas y otros procesos celulares. (Mataix, 2008)

El GETD (Gasto energético Total Diario) es la energía que un organismo consume, la cual utiliza para mantener su homeostasis, es decir que conserva el balance de energía de la ingesta y del gasto diario.(Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, 2011) Se compone de la suma de cuatro factores: GER (Gasto Energético en Reposo)/GEB (Gasto Energético Basal), Gasto Energético por Actividad Física (GEAF), Efecto Térmico de los Alimentos (ETA) y la Termogénesis Facultativa o Energía de Adaptación (TE) que el organismo destina para ajustar el balance energético en forma de calor. (Redondo, 2015) (Henry, 2005)

La OMS define el GETD como “el nivel de energía necesario para mantener el equilibrio entre el consumo y el gasto energético, cuando el individuo presenta peso, composición corporal y actividad física compatibles con un buen estado de salud, debiéndose hacer ajustes para individuos con diferentes estados fisiológicos como crecimiento, gestación, lactancia y envejecimiento”.(World Health Organization (WHO), 1988)

1.4 Gasto Metabólico Basal / Reposo

El metabolismo basal se ha descrito como el nivel más bajo de gasto de energía, sin embargo durante el sueño y en condiciones de desnutrición, el metabolismo puede ser menor que el observado en condiciones basales. El concepto de metabolismo basal surgió de la necesidad de estandarizar las mediciones para poder realizar comparaciones precisas entre individuos. Esto se logra midiendo una tasa mínima de producción de calor libre de los efectos de cualquier consumo de alimentos y entornos físicos "extremos". (Henry, 2005)

El GETD es el gasto diario del metabolismo energético de un individuo, con la cual se mantienen de las funciones vitales, representa el mayor porcentaje del gasto calórico y está correlacionado positivamente con la superficie corporal total y masa corporal magra, representa el 60 - 70% de la energía diaria. Constituye por tanto, la integración de la actividad mínima de todos los tejidos del cuerpo en condiciones de equilibrio, se expresa como producción de calor o consumo de oxígeno por unidad de tamaño corporal (MET). Un MET es el consumo energético de un individuo en estado de reposo, lo cual equivale aproximadamente a 1 kcal por kg de peso y hora, es decir, 4,184 kJ por kg de peso y hora. (Redondo, 2015)

El GEB/GER debe medirse en condiciones que eviten la influencia del entorno externo (calor o frío), el movimiento físico y efectos de la digestión de los alimentos o el metabolismo de los medicamentos. Para su correcta medición se deben tener en cuenta las siguientes condiciones:

1. El sujeto debe estar completamente descansado, tanto antes como durante las mediciones. Deben estar acostados y completamente despiertos.
2. Los sujetos deben estar en ayunas durante al menos 10-12 horas antes de que se tomen las medidas.
3. El entorno en el que se toman las medidas debe ser termo-neutral (22 °C- 27°C) para que no haya efecto termorregulador en la producción de calor.
4. El sujeto debe estar libre de estrés emocional y familiarizado con el aparato utilizado. (Henry, 2005)

El GEB/GER se obtiene cuando la determinación se hace en reposo y en condiciones específicas, sin ayuno, por lo que se incluye la energía de la acción dinámica específica de los alimentos. Existen varias características fisiológicas que hacen que el GEB/GER cambie de unas pocas personas a otras, siendo las principales el tamaño y la composición corporal, la edad, el sexo y la producción de hormonas. (Redondo, 2015)

Tabla 1. Variables para determinación del GEB/GER

CRITERIO	ADULTOS SANOS
Ayuno	Mínimo de 4 a 5 horas después de una comida liviana, en quienes no es apropiado un ayuno prolongado.
Ingestión de alcohol	Abstención mínima de 2 horas
Uso de nicotina	Abstención mínima de 2 horas
Ingestión de cafeína	Abstención mínima de 4 horas
Periodo de reposo	10-20 minutos antes de la prueba
Restricción de actividad física	Abstención de ejercicio aeróbico moderado o de ejercicio anaeróbico mínimo 2 horas antes de la prueba y de 14 horas, en personas que practiquen ejercicio vigoroso de resistencia.
Condiciones ambientales	Temperatura entre 20 a 25°C, condiciones confortables
Dispositivos de recolección	Adherencia rigurosa para prevenir escapes de los gases Estado de equilibrio (Steady- state) Descartar los 5 minutos iniciales; luego alcanzar un periodo de 5 minutos con condiciones e intervalos 10% CV para la producción de oxígeno (VO ₂) y de dióxido de carbono (VCO ₂)
Numero de mediciones 24 horas	Lo ideal es alcanzar el estado de equilibrio en una medición, si no es posible, 2 o 3 mediciones no consecutivas mejoran la precisión.

Variación en la repetición	3-5% en las realizadas dentro de las primeras 24 horas y alrededor del 10% de mediciones después de semanas o meses.
Cociente respiratorio (QR)	QR < 0,7 o > 1,0 sugiere incumplimiento del protocolo o imprecisión en la medición de gases

Tomado de: Redondo RB. Resting energy expenditure ; assessment methods and applications. Nutr Hosp. 2015;31:245–53

Estas mediciones, difieren en menos del 10% y ambos términos se tienden a utilizar indistintamente, aunque en la actualidad se utiliza más la denominación de GEB/GER. (Redondo, 2015)

1.4.1 Métodos para la determinación del GER/GEB

El intercambio de energía es fundamental para la vida y es la base del estudio de la fisiología humana, el metabolismo y la nutrición, por ello la elección y el uso adecuado de los métodos de medición del gasto energético son esenciales para estas estas disciplinas, pues de ello depende el cumplimiento de los objetivos.(Martínez-Sanz et al., 2013)(Heymsfield et al., 2017)

El GER/GEB se determina a través de diferentes técnicas e instrumentos como la calorimetría, la bioimpedancia eléctrica, el agua doblemente marcada, ecuaciones predictivas, entre otras, siendo el método de mayor precisión la medición del consumo de oxígeno. (Redondo, 2015)

Se deben controlar los factores que pueden llevar a modificaciones de los resultados cuando se trata de mediciones del consumo de oxígeno, como la energía inducida por el alimento, el consumo de alcohol, el uso de nicotina, la actividad física, la temperatura ambiental, la posición del individuo durante la prueba y el tiempo de medición. (Redondo, 2015)

La evaluación se puede realizar de dos maneras: directamente con procedimientos analíticos basados en laboratorio e indirectamente mediante técnicas de estimación en situaciones de campo. (Hackney, 2016)

1.4.1.1 Calorimetría Directa (CD)

Este método se lleva a cabo en cámaras herméticas, con paredes aislantes, donde se interna al individuo y se registra el calor almacenado y el perdido por la radiación, convección y evaporación. Requiere mínimo de 6 horas para estabilizar el sistema y debe integrar las pérdidas de calor durante 2 horas. (Mataix, 2008)

La cámara de Atwater para la calorimetría directa es capaz de medir el calor producido por un hombre con exactitud del 0,1%. El calor producido se absorbe por el agua que pasa a través de la cámara, y se puede cuantificar mediante termómetros o termosensores, que registran la temperatura de la misma a la entrada y salida de la cámara en un tiempo determinado. (Mataix, 2008)

También se ha utilizado, en la cuantificación del gasto energético, por medio de un traje enfriado por agua que evalúa los procesos de intercambio energético, que tienen la ventaja de una mayor movilidad del sujeto. (Mataix, 2008)

1.4.1.2 Calorimetría Indirecta (CI)

Los procesos de oxidación de los macronutrientes dan lugar a la producción de anhídrido carbónico, agua y calor. La cantidad de calor que produce la oxidación de un nutriente es proporcional al oxígeno consumido. La determinación del O_2 empleado permite conocer el calor que producirá y, por lo tanto, el gasto energético asociado. Por lo que se llama método indirecto. (Mataix, 2008)

La cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar un 1g de cada macronutriente, la cantidad de CO_2 producido por cada gramo de nutriente oxidado, el cociente respiratorio o relación CO_2 / O_2 , la energía metabolizable de cada macronutriente o kcal producidas

por gramo de macronutriente, el valor calórico del oxígeno o kcal que se genera por litro de O_2 consumido (equivalente calórico del O_2) y las kcal equivalentes por litro de CO_2 producido son relativamente constantes en condiciones normales. De este modo se puede calcular el GETD midiendo el O_2 en las distintas actividades y teniendo en cuenta el tiempo utilizado en cada una de ellas (dormir, trabajar, hacer deporte entre otros). Como el organismo humano metaboliza carbohidratos, grasa y proteínas se requiere determinar la cantidad oxidada de cada uno de estos para efectuar los cálculos matemáticos dependiente de cual macronutrientes se está oxidando en el momento de la medición y posteriormente poder evaluar el gasto energético total. (Mataix, 2008)

La instrumentación que se utiliza para la calorimetría indirecta es la **Bolsa de Douglas** con capacidad de entre 100 y 250 litros, en la que se recoge el aire aspirado, durante un tiempo que suele ser limitado a (2 a 6 minutos). Mediante espirómetros se determina el volumen espirado, el cual se ajusta a la temperatura y presión sin humedad. (Mataix, 2008)

Por otra parte, se determinan las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono si se desea, en una muestra de aire espirado, bien con analizadores químicos de gas, espectrómetro de masas, mediante la técnica de Haldane o de Scholander, sistemas paramagnéticos o de capnómetros (rayos infrarrojos). Así se conoce el contenido de gases respiratorios en el aire espirado y dado que la atmosfera en el contenido de aire de O_2 Y CO_2 es de 20,946 y 0,034 % respectivamente, e puede calcular la cantidad de O_2 consumido y la CO_2 producido. (Mataix, 2008)

Los inconvenientes con este método pueden ser posibles fugas de aire por la mascarilla y tiempo limitado de llenado de la misma. Se ha utilizado en ciertos tipos de ejercicio como caminar o correr en una banda, pero no es practico en ejercicios intensos por llenado rápido de la bolsa para lo cual se utiliza el respirometro Max Plank de pequeño peso el cual va midiendo el aire espirado durante la actividad, sin almacenarlo. (Mataix, 2008)

Otro método indirecto es la determinación por el método de agua doblemente marcada, con dos isotopos estables (no radiactivos) de hidrogeno $2H$ (deuterio), y de Oxígeno $18O^2$. Al ingerir una determinada dosis de agua marcada, los isotopos nombrados en mezclan en el plazo de unas horas con el hidrogeno y oxigeno del agua corporal. Cuando se

producen las combustiones celulares se forman CO_2 , que se expulsa con el aire expirado, y H_2O que se pierde a través de la orina, la respiración y el sudor. (Mataix, 2008)

Dado que el isótopo $^{18}\text{O}^2$ está en ambos componentes y el de deuterio solo en el agua formada, la diferencia entre las pérdidas de ambos isótopos permite calcular la producción de dióxido de carbono total. Este valor se usa para determinar el GE, mediante los valores y formulas indicadas en calorimetría. (Mataix, 2008)

Este método tiene grandes ventajas, permite la medición en el ambiente natural del individuo, pudiéndose llevar a cabo en cualquier actividad y situación fisiológica o patológica en condición “libre” y se pueden hacer en periodos prolongado de tiempo de hasta de 3 semanas; sin embargo, tiene una desventaja el costo elevado de los equipos y baja accesibilidad para cuantificar los isótopos, tampoco brinda información del GE en diferentes momentos del día o entre distintos días del estudio. (Mataix, 2008)(Redondo, 2015)

1.4.1.3 Métodos Estimativos

1.4.1.3.1 Ecuaciones de Predicción (EP)

Es común utilizar ecuaciones de referencia para estimar el GER/GEB y aplicar el método factorial para determinar el requerimiento energético diario. Las ecuaciones predictivas (EP) comúnmente se han desarrollado en personas sanas y están basadas en análisis de regresión que incluye peso, altura, sexo y edad como variables independientes y en la medición del GER/GEB por CI como variable dependiente (Redondo, 2015). Se han descrito numerosas ecuaciones de acuerdo las necesidades de los investigadores, personas sanas, pacientes críticos, deporte, entre otros. En la Tabla 2 se muestran algunas de ellas.

Tabla 2. Ecuaciones de Predicción del GER/GEB

AUTOR	ECUACIÓN
Harris - Benedict(Harris, J. A., & Benedict, 1918)	Hombres GEB = $66.4730 + 13.7516 \times P + 5.0033 \times T - 6.7759 \times E$ Mujeres GEB = $665.0955 + 9.5634 \times P + 1.8496 \times T - 4.6756 \times E$ P = peso en Kg, T = talla en cm, E = edad en años.
Ecuación de Quenouille(Redondo, 2015)	GEB (Kcal/día) = $2.975 \times T + 8.90 \times P + 11.7 \times SC + 3.0 \times h - 4.0 \times t + 293.8$ T = altura en centímetros, P = peso en kilogramos SC = superficie corporal de DuBois, h = Humedad y t = temperatura
Ecuación de Mifflin -St. Jeor (Mifflin et al., 1990)	Hombre GEB= $(10 \times \text{Peso kg}) + (6.25 \times \text{Estatura cm}) - (5 \times \text{Edad años}) + 5$ Mujeres GEB= $(10 \times \text{Peso kg}) + (6.25 \times \text{Estatura cm}) - (5 \times \text{Edad años}) - 161$
Cunningham(Cunningham, 1991a)	Metabolismo basal (MB) (MB) Kcal/día = $[500 + 22.0 \times \text{masa muscular magra (LBM)}]$ Hombres: LBM = $[69.8 - 0.26 (\text{Peso kg}) - 0.12 (\text{Edad años}) \times \text{Peso kg} / 73.2]$ Mujeres: LBM = $[79.5 - 0.24 (\text{Peso kg}) - 0.15 (\text{Edad años}) \times \text{Peso kg} / 73.2]$
De Lorenzo(De Lorenzo A; Bertini I, 1999)	GEB hombres= $-857 + 9.0 \times (\text{masa corporal en kg}) + 11.7 \times (\text{altura en cm})$
Owen (Owen, Owen, & Kendrick, 1986)	Deportistas: GEB (kcal/24 h) = $50.4 + 21.1 \times \text{kg}$ No deportistas : GEB (kcal/24 h) = $795 + 7.18 \times \text{kg}$
FAO/WHO/ONU (Redondo, 2015)	$GEB = (14.7 \times \text{Peso kg}) + 496$ (18-30 edad) $GEB = (8.7 \times \text{Peso Kg}) + 829$ (30-60 edad).

1.5 Composición Corporal

Se debe considerar las interrelaciones complejas del cuerpo humano tanto las químicas, estructurales y atómicas. Tales interrelaciones se pueden observar en el modelo de múltiples componentes con cinco niveles para cuantificar la composición corporal los cuales aumentan de nivel según la complejidad de la organización biológica. (McArdle & V, 2002)(Mattsson & Thomas, 2006)

1.5.1 Nivel Atómico

La masa corporal cerca de 96% está compuesta por los elementos oxígeno (61%), carbono (23%), hidrógeno (10%) y nitrógeno (2,5%), calcio (1.4%), fósforo (1.1%), azufre (0.20%), potasio (0.20%), sodio (0.14%), cloro (0.14%) y el magnesio (0.03%). El potasio se puede medir *in vivo* mediante un recuento de 40 K^+ en todo el cuerpo y varios

elementos (N^{-3} , H^{-} , Ca^{+2} , Cl^{-} , Na^{+} , P^{-3}) mediante análisis de activación de neutrones in vivo. El total de potasio, nitrógeno y carbono del cuerpo se utilizan para estimar la masa celular total, la proteína y la grasa, respectivamente. (Mattsson & Thomas, 2006)

1.5.2 Nivel Molecular

1.5.2.1 Modelo de composición corporal de dos compartimentos (2C): El primer enfoque que divide el peso corporal en masa grasa (MG) y masa libre de grasa (MLG). La hidrodensitometría, la pletismografía de desplazamiento de aire (ADP) y la hidrometría son algunos de los métodos comúnmente utilizados. (K, 2018)

1.5.2.2 Modelo de tres compartimentos (3C): En el que la MLG se divide además en masa corporal magra (MCM) y contenido mineral óseo (CMO). La MLG se divide agua corporal total (ACT) y el sólido restante, proteínas y minerales, masa seca libre de grasa (MSLG). Esto incluye mediciones de densidad corporal (D_c) y ACT. La absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA, por sus siglas en inglés) que suministra una medición rápida, no invasiva, mediante la transmisión de rayos X de alta y baja energía a través del cuerpo. (K, 2018)

1.5.2.3 Modelo de cuatro compartimentos (4C): este modelo se obtiene de la composición corporal, al combinar varios métodos para dividir la masa corporal grasa, contenido mineral, agua y proteína (residual), controla la variabilidad biológica tanto en el componente mineral óseo como agua corporal total, es teóricamente más válido que el modelo 3C. Su uso es limitado en entornos clínicos y estudios grandes, por factores como el tiempo, los costos y el equipo necesario para las múltiples mediciones. Debe utilizarse principalmente para la validación de los métodos de composición corporal y para derivar ecuaciones predictivas. (K, 2018)

1.5.3 Nivel Celular

El cuerpo se divide en células, fluidos extracelulares y sólidos extracelulares. Las células se pueden dividir en dos componentes: masa celular corporal y masa celular grasa, de las cuales la primera es el componente metabólicamente activo. (Mattsson & Thomas, 2006).

1.5.4 Nivel de tejido/ órganos

Dividido como tejido adiposo, músculo esquelético, órganos viscerales y huesos, así como los órganos sólidos individuales. (K, 2018)

La composición corporal y el peso corporal son algunos de los factores que se relacionan con el rendimiento óptimo del ejercicio y por lo tanto pueden afectar la capacidad de un atleta y el potencial de éxito para un deporte determinado. (American Dietetic Association et al., 2009)

El peso corporal puede influir en la velocidad, la resistencia y la potencia; mientras que la composición corporal puede afectar la fuerza y agilidad de un atleta. Algunos deportes requieren cambios de peso y de la composición corporal, por ejemplo, deportistas que participan en una categoría específica de peso, como lucha o remo ligero, etc. La relación aumentada de tejido magro/tejido graso, sugiere una ventaja en actividades físicas que requieran de velocidad, también actividades como baile, gimnasia, patinaje artístico o buceo, etc. Sin embargo, las restricciones energéticas extremas logran producir pérdidas de tejido graso y tejido muscular que pueden influir negativamente en el desempeño del atleta. (American Dietetic Association et al., 2009)

1.5.5 Métodos para valorar el tamaño y la composición corporal

1.5.5.1 Valoración Directa

Una de las técnicas es utilizar una solución química que disuelve el cuerpo en sus componentes de MG y MLG y la otra basa su técnica en la disección del tejido graso del tejido libre de grasa en cadáveres, sin embargo, su aplicación y utilidad es muy limitada.(McArdle & V, 2002) (Moreira, Alonso-Aubin, De Oliveira, Candia-Luján, & De Paz, 2015)

1.5.5.2 Valoración indirecta

1.5.5.2.1 Antropometría

Consiste en la evaluación de las diferentes dimensiones corporales y en la composición global del cuerpo, siendo utilizada para diagnosticar el estado nutricional de poblaciones y la presencia o ausencia de factores de riesgo cardiovascular, como la obesidad o la cantidad de grasa abdominal. Es un método no invasivo, de bajo costo usado para la evaluación del estado nutricional, aporta información basado en el modelo de 2 componentes sobre reservas corporales de tejido graso y tejido muscular.(Moreira et al., 2015) El Gold estándar actualmente se realiza con la valoración del modelo de 5 componentes: piel, masa ósea, masa grasa, masa muscular y masa residual.(McArdle & V, 2002)

1.5.5.2.2 Análisis de Impedancia Bioeléctrica (BIA)

Técnica basada en las propiedades conductoras eléctricas del cuerpo por lo que implica medir la impedancia al flujo de una corriente eléctrica baja (800 μ A), a una frecuencia fija (50 kHz). El principio de BIA es que el tejido magro (TM), que consiste en agua y electrolitos, es un buen conductor eléctrico, mientras que la grasa, que no tiene agua, es un mal conductor. (Moreira et al., 2015)

1.5.5.2.3 Métodos de laboratorio Hidrodensitometría [pesaje submarino (UWW)]

La hidrodensitometría o densitometría implica la estimación de Db. mide el agua desplazada por el cuerpo, cuando está completamente sumergida y en combinación con el volumen de pulmón residual, las mediciones pueden proporcionar una medida precisa del volumen corporal (VC), a partir de la cual se puede estimar la Db. (Moreira et al., 2015)

1.5.5.2.4 Pletismografía de Desplazamiento de Aire (ADP)

Mide la Db y la grasa corporal total y el TM. ADP utiliza la asociación entre la presión y el volumen para derivar VC para un individuo sentado dentro de la cámara. (Moreira et al., 2015)

1.5.5.2.5 Absorciometría Dual de rayos X de Doble Energía (DXA)

Mide la grasa corporal, el músculo y el mineral óseo total del cuerpo, utilizando dos energías de rayos X. Es el estándar de oro para las mediciones de densidad mineral, pero también se usa para estimar la grasa corporal total y regional y masa libre de grasa. (K, 2018) (Moreira et al., 2015)(Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, 2011)

1.6 Actividad Física, Deporte y Ejercicio

La OMS define como actividad física (AF) cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que requiera gasto de energía. Comprende el ejercicio y otras actividades que involucran movimiento corporal y se realizan como juego, trabajo, formas de transporte activas (Ejemplo: bicicleta), tareas domésticas y de actividades recreativas. (Organización Mundial de la Salud, 2010)

- **Actividad física ocupacional:** actividades realizadas en el trabajo (remunerado o no), en la universidad (académicas y de entrenamiento) y tareas del hogar.
- **Actividad física relacionada con el transporte:** formas de desplazarse a los diferentes lugares (caminando o en bicicleta).
- **Actividad física en el tiempo libre:** actividades recreativas realizadas por fuera del tiempo obligatorio como el trabajo, la universidad y el desplazamiento (Rangel Caballero, Rojas Sánchez, & Gamboa Delgado, 2015)

El ejercicio es una subcategoría de la AF planificada, estructurada, repetitiva y realizada con un objetivo relacionado con la mejora o el mantenimiento de uno o más componentes de la aptitud física como resistencia cardiorrespiratoria, resistencia muscular, fuerza muscular, composición corporal y flexibilidad. (Organización Mundial de la Salud, 2010)(Dasso, 2019)(G.Christenson, 1985)

El deporte se relaciona con un tipo específico de ejercicio estructurado con propósitos competitivos, implica competencia, puntuación, reglas y especialización de una o más cualidades físicas.(G.Christenson, 1985)(World Health Organization (WHO), 1988)

Según la Ley 181 de 1995 en Colombia el deporte se desarrolla de las siguientes formas:

- **Deporte formativo:** tiene como finalidad contribuir al desarrollo integral del individuo. Incluye los procesos de iniciación, fundamentación y perfeccionamiento deportivos. Tiene lugar tanto en los programas del sector educativo formal y no formal, como en los programas de las escuelas de formación deportivas y semejantes.
- **Deporte social comunitario:** su fin es el de esparcimiento, recreación y desarrollo físico de la comunidad. Gestiona la integración, descanso y creatividad. Se realiza mediante la acción interinstitucional y la participación comunitaria para el mejoramiento de la calidad de vida.
- **Deporte universitario:** es el que se desarrolla en la formación de los estudiantes de educación superior. Tiene lugar en los programas académicos y de bienestar universitario de las instituciones educativas definidas por la Ley 30 de 1992.

- **Deporte asociado:** es organizado por un conjunto de entidades de carácter privado constituidas jerárquicamente con el fin de desarrollar actividades y programas de deporte competitivo de orden municipal, departamental, nacional e internacional que tengan como objeto el alto rendimiento de los deportistas afiliados a ellas.
- **Deporte competitivo:** es el conjunto de certámenes, eventos y torneos, cuyo objetivo es lograr un nivel técnico calificado.
- **Deporte de alto rendimiento:** es la práctica deportiva de organización y nivel superiores. Alcanza procesos integrales orientados hacia el perfeccionamiento de las cualidades y condiciones físico-técnicas de deportistas, a través del aprovechamiento de desarrollos científicos y tecnológicos.
- **Deporte aficionado:** es aquel que no admite pago o indemnización alguna a favor de los jugadores o competidores distinto del monto de los gastos efectivos ocasionados durante el ejercicio de la actividad deportiva correspondiente.
- **Deporte profesional:** es el que admite como competidores a personas naturales bajo remuneración, de conformidad con las normas de la respectiva federación internacional. (Ministerio de la Protección Social, Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, 2011)

1.6.1 Instrumentos de medición de la actividad física

La evaluación de la actividad ha requerido el desarrollo de cuestionarios estandarizados a nivel mundial, en Colombia se han validado algunos de estos cuestionarios en investigaciones con población físicamente activa.(Mantilla Toloza, S., Gómez-Conesa & Toloza, S, 2007)(Rangel Caballero et al., 2015)

Hacia 1998 en Ginebra se desarrolla el Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ) por sus siglas en inglés el cual ha sido validado en diversos estudios realizados en poblaciones europeas, asiáticas, australianas, africanas y americanas.(Mantilla Toloza, S., Gómez-Conesa & Toloza, S, 2007)

Existen dos versiones de este cuestionario: la versión corta (9 ítems) proporciona información sobre el tiempo empleado al caminar, en actividades de intensidad moderada y vigorosa y en actividades sedentarias y la versión larga (31 ítems) registra información detallada en actividades de mantenimiento del hogar y jardinería, actividades ocupacionales, transporte, tiempo libre y también actividades sedentarias, lo cual facilita calcular el consumo calórico en cada actividad. Se ha sugerido que sea la versión corta, la utilizada en estudios poblacionales. (Mantilla Toloza, S., Gómez-Conesa & Toloza, S, 2007)

Otro cuestionario que se desarrolló para la medición de la actividad física fue el Cuestionario Mundial de Actividad Física (GPAQ, por sus siglas en inglés) (Armstrong & Bull, 2006)(World Health Organization, 2018) que evalúa la actividad física desarrollada en tres dominios (actividad física ocupacional, relacionada con el transporte y actividad física en el tiempo libre) y abarca varios componentes de la actividad física, tales como intensidad, duración y frecuencia. (Rangel Caballero et al., 2015)

En la (Tabla 3) se evidencian otros métodos propuestos para la medición de la actividad física en Colombia. (Ministerio de la Protección Social, Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, 2011)

Tabla 3. Métodos para la medición de la AF en Colombia

MÉTODO	MEDICIÓN	UNIDADES	CONFIABILIDAD
Observación	Actividad física	Frecuencia, duración, tipo	Moderado
Podómetros	Actividad física Gasto calórico	Numero de pasos, kilogramos, Pasos/min	Bajo
Acelerómetros	Actividad física Gasto calórico	Frecuencia, duración, Kilocalorias, METs	Moderado

Diarios	Actividad física Gasto calórico	Kilocalorías por producción de CO ₂ METs	Alto
Agua doblemente marcada	Gasto calórico	Kilocalorías por producción de CO ₂	Alto

Adaptado de: Ministerio de la Protección Social, Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación la AF y el A del TL-C. Documento técnico con los contenidos de direccionamiento pedagógico para la promoción de hábitos de vida saludable, con énfasis en alimentación saludable y el fomento de ambientes 100% libres de humo de cigarrillo a través de la práctica regular de la act. 2011. Tomo 2.

1.6.2 Nivel de intensidad de la actividad física

El nivel de AF en los adultos se clasifica en 4 categorías: *inactivos, bajo, medio y alto*. Esta clasificación es útil porque provee una pauta de cómo la cantidad de AF está relacionada con los beneficios en salud. (Ministerio de la Protección Social, Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, 2011). Existen diferentes métodos para determinar el nivel de intensidad de actividad física tales como:

1.6.2.1 Frecuencia cardiaca en el entrenamiento (FEC): Se basa en la relación lineal entre la FC y el VO₂ con intensidades crecientes de esfuerzo. La FEC se instaura usando la FC que es equivalente a un determinado % VO₂ máx. Por ejemplo si se requiere un nivel del entrenamiento del 75% del VO₂ máx. Se determina entonces como VO₂ máx. X 0,75 posteriormente se selecciona la FC de este VO₂ como la FCE. Es importante conocer que la intensidad del ejercicio necesaria para alcanzar un determinado porcentaje de VO₂ máx. da lugar a una FC más elevada de este mismo porcentaje de FC máx.(Wilmore, Jack; Costill, 2007)

1.6.2.2 El equivalente metabólico(MET): la cantidad de oxígeno que consume el cuerpo es directamente proporcional a la cantidad de oxígeno que se gasta durante la actividad física. En reposo el cuerpo utiliza 3,5 ml/kg/min este ritmo metabólico en reposo recibe la denominación de 1,0 MET.(Wilmore, Jack; Costill, 2007)

Todas las actividades pueden calificarse por su intensidad de acuerdo con las necesidades de oxígeno. Una actividad clasificada como 2,0 MET requiriera el doble del ritmo metabólico en reposo o 7 ml/kg/min. El sistema MET es útil como línea de orientación para el entrenamiento, pero no refleja las variaciones en las condiciones ambientales y no permite cambios en el acondicionamiento físico.(Wilmore, Jack; Costill, 2007)

1.6.2.3 La escala del esfuerzo percibido (EEP): mide el esfuerzo que el individuo percibe al hacer ejercicio, por lo tanto es una valoración subjetiva del individuo respecto de la intensidad del trabajo realizado. Brinda criterios para ajustar a la intensidad de ejercicio, con lo que se logra pronosticar las diferentes intensidades del ejercicio, usando la escala de Borg original la cual comprende del 6 al 20, la intensidad del ejercicio deberá encontrarse en una EEP entre 12 y 13 (un poco duro) y una EEP entre 15 y 16 (duro), los estudios demuestran que puede ser un dato preciso lo cual se ha comprobado con la FC máx.(Wilmore, Jack; Costill, 2007)

1.6.3 Determinación de gasto metabólico en actividad física

Determinar las necesidades calóricas en la AF debe ser una prioridad nutricional pues el balance óptimo entre la ingesta de energía y la energía es decisivo para maximizar los efectos del entrenamiento, el adecuado rendimiento, desempeño del individuo.(Martínez-Sanz et al., 2013) (American Dietetic Association et al., 2009).

El GER/GEB representa el mayor porcentaje de gasto calórico la cual se relaciona con la superficie corporal total y masa corporal magra. Significa el 60–70% del GET, no obstante, depende del estado físico y del nivel de actividad del individuo; se han descrito valores del 50% de GET en deportistas de resistencia masculinos. (Haaf & Weijs, 2014) También está relacionado con la duración, la frecuencia e intensidad de la ejercicio, el sexo, el estado nutricional previo y la edad, los métodos calorimétricos tanto directos como indirectos han sido validados ampliamente para la determinación del GER/GEB, sin embargo, cuando no es posible se han empleado las ecuaciones predictivas.(Henry, 2005) (Redondo, 2015) (American Dietetic Association et al., 2009) (Martínez-Sanz et al., 2013) (Janice T, 1996) (Mielgo-ayuso et al., 2015)

El siguiente paso para determinar el GET es determinar el gasto energético diario de actividad física, multiplicando el valor del GER/GEB por la actividad física. El factor de nivel que más representa al atleta y finalmente la termogénesis de los alimentos (ETA). Los atletas necesitan consumir suficiente energía para mantener peso apropiado y composición corporal durante el entrenamiento (American Dietetic Association et al., 2009) por lo tanto la ingesta calórica deberá ajustarse para evitar la pérdida rápida de peso pues aproximadamente el 25% de la masa muscular esquelética se pierde cuando se reduce la masa corporal total. (Greenwood, Cooke, Ziegenfuss, Kalman, & Antonio, 2009)

La ingesta limitada de energía provoca pérdida de peso, incluyendo disminución del tejido magro con la consecuente pérdida de fuerza y resistencia, adicionalmente compromete la función inmune, endocrina y musculo esquelética, conllevando a largo plazo a un déficit de macro y micronutrientes que puede dar lugar a disfunciones metabólicas asociadas, así como a una disminución del GER/GEB como un mecanismo de adaptación fisiológica.(American Dietetic Association et al., 2009).

2 Capítulo 2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Explorar en la literatura cuáles de las ecuaciones de predicción que emplean la variable Masa Libre de Grasa tiene una predicción más cercana al Gold Estándar (Calorimetría Indirecta) para el cálculo de Gasto Metabólico en Reposo y/o Basal en personas físicamente activas.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar en la literatura científica las ecuaciones que existen de predicción del Gasto Energético Basal y/o Reposo que incluyen la variable de Masa Libre de Grasa en población adulta sana físicamente activa.
- Determinar si existe diferencia en la estimación del gasto metabólico basal y/o en reposo a partir de las ecuaciones de predicción que utilizan la variable masa libre de grasa comparado con las ecuaciones de predicción que no utilizan esta variable.

3 Capítulo 3. Marco Metodológico

3.1 Tipo de estudio

Este estudio es una revisión narrativa de tipo cualitativo, secundaria; pues no se realizó experimentación, con lo cual, esta revisión del estado del arte permitió describir el desarrollo del tema planteado que se desplegara a continuación.

Al ser un estudio cualitativo no se realizó una evaluación rigurosa de los artículos hallados según la metodología descrita por Cochrane. (Rother, 2007)

3.2 Pregunta de investigación con estrategia PICO

Por medio del formato PICO se realizó la pregunta de investigación, en el cual se detallan los componentes que la integran, como se observa en la (Tabla 4). Esta herramienta permitió mejorar la especificidad y claridad conceptual del problema de estudio, como también en la búsqueda de la literatura permitió explorar con mayor calidad y precisión los artículos científicos, pues se focalizo los objetivos del trabajo en la identificación de las ecuaciones de predicción que utilizan la variable MLG para la determinación del GER/GEB y las que no utilizan esta variable (*Intervención*) y permitió plantear la posibilidad de presentar cuales de estas ecuaciones de predicción que emplean la variable MLG es la que tiene mejor predicción (*Resultado*) en personas físicamente activas. (*Población*). (PIO) (Edgar L, 2014)

Tabla 4. Estrategia PICO

ACRÓNIMO Y COMPONENTE	DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES
P: PACIENTE O PROBLEMA DE INTERÉS	<ul style="list-style-type: none"> • Personas sanas físicamente activas • Actividad física • Gasto Metabólico Basal/ Reposo
I: INTERVENCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos de determinación del Gasto Metabólico Reposo y/o Basal. • Ecuaciones de predicción que utilicen Masa Libre de Grasa para determinar Gasto Metabólico en Reposo y/o Basal. • Ecuaciones de predicción para determinar Gasto Metabólico en Reposo y/o Basal.
C: COMPARACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Calorimetría Indirecta
O: RESULTADOS (OUTCOME)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál ecuación tiene la mejor predicción del Gasto Metabólico en Reposo y/o Basal?

Tomado de (Edgar L, 2014)

Por medio de esta estrategia se planteó la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles ecuaciones de determinación del Gasto Energético Basal y/o en Reposo que incluyen la variable Masa Libre de Grasa, tienen la mejor la predicción en la población adulta sana físicamente activa?

3.3 Estrategia de búsqueda

Se realizó la búsqueda de la información en bases de datos indexadas para responder al interrogante de investigación de acuerdo a la metodología PICO lo que permitió explorar con mayor calidad y precisión los artículos científicos. Se investigo los términos Tesouro llamados MeSH para PubMed y términos libres, enlazándolos con los operadores booleanos AND y OR, se desarrolló diferentes versiones de fórmulas para la investigación de la información hasta obtener el mejor resultado de búsqueda. La cual se presenta a continuación y se resume con los descriptores MeSH y términos libres en la (Tabla 5).

((("Athletes"[Mesh] OR "Sports"[Mesh]) OR "Exercise"[Mesh]) AND (("prediction equation"[All Fields] OR "Cunningham equation"[All Fields] OR "Prediction formulas"[All Fields]) AND "lean body mass"[All Fields] OR "fat free mass"[All Fields] OR "body composition "[Mesh])) AND ("Basal Metabolism"[Mesh] OR "Energy Intake"[Mesh] OR "Energy expenditure"[All Fields] OR "basal metabolic rate"[All Fields] OR "resting metabolic rate (RMR)"[All Fields]) AND ("2009/05/29"[PDat]: "2019/01/01"[PDat] AND "humans"[MeSH Terms]) AND "Calorimetry, Indirect"[Mesh]) y filtro de edad de 19 a 65 años.

Tabla 5. Descriptores usados en la búsqueda

	P: PACIENTE O PROBLEMA DE INTERÉS	I: INTERVENCIÓN	C: COMPARACIÓN	O: RESULTADOS
Descriptor de asunto MeSH	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Athletes ▪ Sport ▪ Exercise 			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basal Metabolism ▪ Energy Intake
Término Libre		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Predictive equation ▪ Predictive formulas ▪ Cunningham equation ▪ Body lean mass ▪ Fat free mass ▪ Body composition 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Calorimetry, Indirect 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Energy expenditure ▪ Basal metabolic rate

Esta ecuación se introdujo en las siguientes bases de datos :

- PubMed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>)
- Web of Science (<http://apps.webofknowledge.com>)
- Cochrane (www.cochranelibrary.com)
- Descubridor de la Universidad Nacional de Colombia (<http://eds.b.ebscohost.com/eds/search/basic?vid=0&sid=04b46e06-c5e6-432d-81bb-ed33ac20eaa0%40sessionmgr102>)

Y se escogió los artículos según criterios de inclusión y exclusión de cada una de ellas como se resume en la (Tabla 6) y la (Tabla 7)

Tabla 6. Número total de artículos encontrados por base de datos

Base	Pub Med	Web of Science	Cochrane	Descubridor Universidad Nacional	Total
Número de artículos	36	15	0	6	57
Duplicados	8				49

3.4 Criterios de elegibilidad de artículos

Criterios de Inclusión

- Adultos sanos de 18 a 65 años
- Personas físicamente activas y /o deportistas.
- Determinación del Gasto Metabólico por ecuaciones de predicción
- Composición corporal y/o masa libre de grasa
- Últimos 10 años

Criterios de Exclusión

- Gestantes o lactantes
- Menopausia o postmenopausia
- Determinación del Gasto Metabólico solo por Calorimetría Directa
- Cambios en el Gasto Metabólico secundario a un régimen dietético

Tabla 7. Consolidación de resultados de búsqueda

#	Título	Autor(Es)	Fuente	Año	URL / DOI	Tipo de Documento	Resumen (Si lo Tiene)	Relevancia*	Lectura	Exclusión /aceptado
1	Determination of step rate thresholds corresponding to physical activity intensity classifications in adults	Abel, Mark Hannon, James et al	Journal of Physical Activity and Health	2011	10.1123/jpah.8.1.45	Artículo	Identificar los umbrales de velocidad de paso que corresponden a varias clasificaciones de intensidad. Conclusiones: Promover una tasa de pasos de 100 pasos · min ⁻¹ puede servir como una recomendación práctica de salud pública para hacer ejercicio a una intensidad moderada	1	Título	No EP
2	Accuracy of two Generic Prediction Equations and One Population-Specific Equation for Resting Energy Expenditure in Individuals with Spinal Cord Injury.	Andersen, Ross E Sweet, Shane N Reid, et al	Canadian Journal of Dietetic Practice and Research	2018	10.3148/cjdp-r-2018-021	Artículo	Evaluar la precisión de las ecuaciones de predicción comunes, las ecuaciones de Harris-Benedict (HB) y Mifflin St. Jeor (MSJ), para estimar el gasto de energía en reposo GER entre las personas con lesión de la médula espinal (SCI) contra mediciones GER reales.	3	Título	Patología
3	VO2max is associated with measures of energy expenditure in sedentary condition but does not predict weight change.	Ando, Takafumi Piaggi, Paolo Bogardus, Clifton, et al	Metabolism: Clinical and Experimental	2019	10.1016/j.metabol.2018.10.012	Artículo	Determinar las asociaciones de VO2máx con medidas de termogénesis predominantemente sedentaria de 24 h, y el cambio de peso posterior. Se midió la de composición corporal, tasa metabólica en reposo (GMR) y prueba de carrera intermitente en la cinta para evaluar el VO2máx por calorimetría indirecta	1	Título	No AF
4	Effect of resistance training on resting metabolic rate and its estimation by a dual-energy X-ray absorptiometry metabolic map.	Aristizabal, J. C. Freidenreich, D. J. Volk, B. M. et al	European Journal of Clinical Nutrition	2015	10.1038/ejcn.2014.216	Artículo	Efectos del entrenamiento de resistencia combinados con la suplementación con proteínas en GER y si las respuestas GER podrían estimarse mediante un mapa metabólico de absorciometría de rayos X de doble energía (DXA).	1	Título	Dieta/ No EP

5	Comparison between several muscle strength and cardiorespiratory fitness indices with body composition and energy expenditure in obese postmenopausal women	Bellefeuille, P. Robillard, M. E. Ringuet, M. E. Et al	International Journal of Sports Medicine	2013	10.1055/s-0032-1321802	Artículo	Comparar la relación de varios índices de fuerza muscular y aptitud cardiorrespiratoria con la composición corporal y el gasto energético en mujeres obesas posmenopáusicas.	1	Título	Postmenop
6	Adaptive thermogenesis and changes in body composition and physical fitness in army cadets	Borges, Juliano H. Hunter, Gary R. Silva, et al	Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	2019	10.23736/s0022-4707.17.08066-5	Artículo	Analizar la asociación entre un entrenamiento militar de 34 semanas sobre composición corporal, estado físico y cambios compensatorios en el gasto de energía en reposo (GER) reconocido como termogénesis adaptativa (AT). También exploramos si los cambios regionales en la composición corporal estaban relacionados con la AT.	3	Completo	No AF
7	Does metabolic compensation explain the majority of less-than-expected weight loss in obese adults during a short-term severe diet and exercise intervention	Byrne, N. M. Wood, R. E. Schutz, Y. Hills, A. P.	International Journal of Obesity	2012	10.1038/ijo.2012.109	Artículo	Cambios en la tasa metabólica y la composición de la pérdida de peso explican la pérdida de peso menor a la esperada en hombres y mujeres obesos durante una intervención de dieta más ejercicio.	1	Título	Dieta
8	The TaqIA RFLP is associated with attenuated intervention-induced body weight loss and increased carbohydrate intake in	Cameron, Jameason D. Riou, Marie Ève Tesson, et al	Appetite	2013	10.1016/j.appet.2012.09.010	Artículo	El objetivo fue examinar si el genotipo del polimorfismo de longitud del fragmento de restricción TaqIA (RFPL) estaba relacionado con una respuesta atenuada de pérdida de peso o con cambios en el gasto de energía (GE) y la preferencia alimentaria antes y después de la pérdida de peso.	1	Título	Menopausia

	post-menopausal obese women									
9	Resting metabolic rate in elite rowers and canoeists: Difference between indirect calorimetry and prediction	Carlsohn, Anja Scharhag-Rosenberger, Friederike Cassel, et al	Annals of Nutrition and Metabolism	2011	10.1159/000330119	Artículo	Verificar la aplicabilidad de las predicciones de GER/GEB comúnmente utilizadas para su uso en atletas. Un bajo porcentaje de grasa corporal puede afectar la predicción del GER/GEB cuando se usa Cunningham y Harris-Benedict	5	Completo	Aceptado
10	No sex difference in body fat in response to supervised and measured exercise	Caudwell, Phillipa Gibbons, Catherine Hopkins, et al	Medicine and Science in Sports and Exercise	2013	10.1249/MS.S.0b013e31826ced79	Artículo	Comparar el efecto de un programa de ejercicio supervisado de 12 semanas sobre el peso corporal, la composición corporal, el apetito y la ingesta de energía en hombres y mujeres.	2	Abstrac	Menopausia
11	Predicting energy expenditure in elders with the metabolic cost of activities.	Choquette, Stéphane Chuin, Aurélie Lalancette, et al	Medicine and science in sports and exercise	2009	10.1249/MS.S.0b013e3181a6164a	Artículo	El objetivo de este estudio fue predecir el gasto total de energía en ancianos combinando el costo metabólico de las actividades y los resultados del acelerómetro. Nuestros resultados sugieren que la Gasto total de energía puede estimarse con buena precisión utilizando masa libre de grasa, el costo de quedarse quieto y el costo de caminar a 3 km · h (-1).	1	Titulo	Edad
12	The effects of Ramadan fasting on activity and energy expenditure	Lessan, Nader Saadane, Ilham Alkaf, et al	American Journal of Clinical Nutrition	2018	10.1093/ajcn/nqx016	Artículo	Investigar el impacto del ayuno del Ramadán en el GER, la actividad y el gasto total de energía (GET).	1	Titulo	Dieta

13	Metabolic impact of protein feeding prior to moderate-intensity treadmill exercise in a fasted state: a pilot study.	Gieske, Bradley T Stecker, Richard A Smith, et al	Journal of the International Society of Sports Nutrition	2018	10.1186/s12970-018-0263-6	Articulo	El consumo de proteínas antes del ejercicio de cinta de intensidad moderada en ayunas aumentó significativamente el gasto de energía después del ejercicio en comparación con la ingestión de maltodextrina y tendió a ser mayor que el control.	1	Título	Dieta
14	Resting and exercise energy metabolism in weight-reduced adults with severe obesity	Hames, Kazanna C. Coen, Paul M. King, Wendy C. et al	Obesity	2016	10.1002/oby.21501	Articulo	Para determinar los efectos de la actividad física (AP) con la pérdida de peso inducida por la dieta sobre el metabolismo energético en adultos con obesidad severa. Si bien las adaptaciones metabólicas a la AP durante la pérdida de peso ocurren en adultos con obesidad severa, la FAO no cambia. La FAO resultante durante el descanso y el ejercicio sigue siendo similar a la de los adultos con obesidad menos grave.	3	Título	Obesidad /No AF
15	Comparison of measured and predictive values of basal metabolic rate in brazilian paralympic track and field athletes	Juzwiak, Claudia Ridel Winckler, Ciro Joaquim, Daniel et al	International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism	2016	10.1123/ijsem.2015-0015	Articulo	Verificar cuál de las ecuaciones de predicción es la más adecuada para su uso en este grupo poblacional. Para este grupo específico de atletas, las ecuaciones de Owen y Mifflin proporcionaron las mejores predicciones de GER/GEB	5	Completo	Aceptado
16	Abdominal fat subdepots and energy expenditure: Magnetic resonance imaging study	Serfaty, Dana Rein, Michal Schwarzfuchs, Dan Shelef, Ilan et al	Clinical Nutrition	2017	10.1016/j.clnu.2016.05.009	Articulo	El objetivo fue evaluar la asociación entre los distintos subdepósitos abdominales y el gasto de energía en reposo (GER).	1	Título	Obesidad

17	Prediction Equations Overestimate the Energy Requirements More for Obesity-Susceptible Individuals.	McLay-Cooke, Rebecca T Gray, Andrew R Jones, et al	Nutrients	2017	10.3390/nu9091012	Articulo	Se midió n el GER por calorimetría indirecta en individuos susceptibles a la obesidad y resistentes a la obesidad .El GER prevista se calculó utilizando las ecuaciones FAO / OMS / UNU (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación / Organización Mundial de la Salud / Universidad de las Naciones Unidas), Oxford y Mifflin-St Jeor.	3	Completo	No AF
18	Resting energy expenditure in obese women: Comparison between measured and estimated values	Poli, Vanessa Fadanelli Schoenard ie Sanches, Ricardo et al	British Journal of Nutrition	2016	10.1017/S0007114516003172	Articulo	Investigar qué ecuaciones predictivas del gasto energético en reposo (GER) son las mejores alternativas a la calorimetría indirecta antes y después de una terapia interdisciplinaria en mujeres obesas brasileñas	3	Título	Obesidad /No AF
19	Androgen receptor gene polymorphism influence fat accumulation: A longitudinal study from adolescence to adult age	Ponce-González, J G Rodríguez -Garcia, L Losa-Reyna, J	Scandinavian Journal of Medicine & Science In Sports	2016	10.1111/sms.12587	Articulo	Para determinar la influencia de los polimorfismos de repetición CAG y GGN del receptor de andrógenos sobre la masa grasa y la oxidación máxima de grasa (MFO), se midieron las longitudes de repetición CAG y GGN en 128 niños	1	Abstrac	No AF
20	Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance: Diabetes mellitus and related comorbidities	Riddell M, Burr J	Applied Physiology , Nutrition and Metabolis m	2011	10.1139/h11-063	Articulo	La actividad física (AP) es una de. Llevamos a cabo una búsqueda estandarizada de todos los eventos adversos asociados con un aumento de la AP en personas con prediabetes o diabetes (tipo 1 o tipo 2) y proporcionamos pautas basadas en la evidencia para la detección de AP en estos individuos aparentemente de alto riesgo	1	Título	Patología

21	Are increases in skeletal muscle mass accompanied by changes to resting metabolic rate in rugby athletes over a pre-season training period?	MacKenzie-Shalders, Kristen L. Byrne, Nuala M. King, Neil A. Slater, G. J.	European Journal of Sport Science	2019	10.1080/17461391.2018.1561951	Articulo	Este estudio tuvo como objetivo medir el GER de los atletas de rugby e informar el cambio en GER en el desarrollo de jugadores de rugby de élite durante una pretemporada de rugby posterior a los cambios en la composición corporal y explorar la predicción precisa de GER en los atletas de rugby.	5	Completo	ACEPTADO
22	Derivation of an Age and Weight Handicap for the 5K Run	Vanderburgh, Paul M. Laubach, Lloyd L.	Measurement in Physical Education and Exercise Science	2007	10.1207/s15327841mpe1101_3	Articulo		3	Completo	NO EP
23	Effects of exercise on VLDL-triglyceride oxidation and turnover	Sondergaard, Esben Rahbek, Ibense Sorensen, et al	American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism	2011	10.1152/ajpendo.00031.2011	Articulo	Estudio de los efectos agudos de 90 minutos de ejercicio de intensidad moderada en mujeres y hombres sanos.	1	Titulo	No EP
24	Exercise lactate levels: simulation and reality of aerobic and anaerobic metabolism	Duvillard, S. P	European Journal of Applied Physiology	2001	10.1007/s004210100515	Articulo		1	Titulo	No EP

25	Comparative effect of a 1 h session of electrical muscle stimulation and walking activity on energy expenditure and substrate oxidation in obese subjects	Grosset, Jean François, Crowe, Louis de Vito, et al	Applied Physiology, Nutrition and Metabolism	2013	10.1139/apnm-2011-0367	Artículo	Este estudio investigó los efectos metabólicos y cardiovasculares de una sesión de 1 h de NMES de miembros inferiores y comparó la respuesta cardiovascular con la observada al caminar en nueve sujetos obesos	1	Título	Obesidad
26	Energy expenditure and dietary intake of athletes during an ultraendurance event developed by hiking, cycling and mountain climbing	Rejc, E. Lazzer, S. Antonutto, G.	Journal of Sports Medicine and Physical Fitness	2010	ISSN: 00224707	Artículo	Investigar la intensidad del ejercicio, el gasto energético y el equilibrio energético de los atletas durante un evento de ultraendurance (UE) que consiste en senderismo, ciclismo y escalada de montaña. Métodos. El consumo máximo de oxígeno (VO ₂ máx) y las relaciones de "frecuencia cardíaca VO ₂ " durante el ciclismo y la marcha se determinaron mediante calorimetría indirecta durante dos pruebas de ejercicio graduadas. La masa corporal y la masa grasa corporal se midieron antes y después del UE	2	Abstrac	No EP
27	High Resistance vs. Low Resistance; Low Repetition vs. High Repetition Training: Effects on Performance of Trained	Jackson, Nathaniel P. Hickey, Matthew S. Reiser, Raoul F.	The Journal of Strength and Conditioning Research	2007	10.1519/r-18465.1	Artículo	Investigar los efectos de una modalidad de entrenamiento de resistencia en el rendimiento de ciclismo. Toma de VO ₂ por calorimetría indirecta	1	Título	No EP
28	Increasing specialty care access through use of an innovative	Woo, Christine Seton,	The Journal of Spinal	2916	10.1179/2045772314y000000202	Artículo		1	Título	Patología

	home telehealth-based spinal cord injury disease management protocol (SCI DMP)	Jacinta M. Washington, Monique Tomlinson . Et al	Cord Medicine							
29	The impact of multimorbidity on resting metabolic rate in community-dwelling women over a ten-year period: A cross-sectional and longitudinal study	Nagel, A. Jungert, A. Spinneker, A. Neuhäuser-Berthold, Monika	Journal of Nutrition, Health and Aging	2017	10.1007/s12603-016-0840-9	Artículo	Investigó si el número de enfermedades es un predictor del GER y sus cambios a largo plazo en las mujeres mayores que viven en la comunidad. Como resultados se evidencia que el aumento de la multimorbilidad en las mujeres que viven en la comunidad se asocia con un aumento en la GER independientemente de la composición corporal y la edad.	2	Abstrac	Edad
30	Potential Causes of Elevated REE after High-Intensity Exercise.	Hunter, Gary R Moellering , Douglas R Carter, Stephen J Gower, et al	Journal of Nutritional Science and Vitaminology	2017	10.1249/MS.S.0000000000001386	Artículo	Determinar los efectos de un solo episodio de ejercicio aeróbico continuo de intensidad moderada o ejercicio de intervalo de alta intensidad en el GER en condiciones de equilibrio energético en mujeres premenopáusicas	2	Abstrac	Menopausia
31	Relative contribution of organs other than brain to resting energy expenditure is consistent among male power athletes	Oshima, Satomi Miyauchi, Sakiho Asaka, Meiko Kawano, et al	Journal of Nutritional Science and Vitaminology	2013	10.3177/jnsv.59.224	Artículo	Se examinó la contribución de los órganos internos al GER de la fracción MLG entre los atletas de poder masculino-	3	Completo	No EP

32	Resting energy expenditure can be assessed by fat-free mass in female athletes regardless of body size.	Usui, C Takahashi, E Gando, Y Sanada, et al	Journal of Nutritional Science and Vitaminology		10.3177/jnsv.57.22	Artículo	Evaluar la posibilidad de que la medición la magnitud y distribución de las unidades fundamentales de producción de calor somático utilizando la absorciometría de rayos X de energía dual (DXA) se pueda utilizar para estimar el gasto de energía en reposo en mujeres jóvenes y ancianas con diferentes condiciones aeróbicas	1	Completo	No EP
33	Resting energy expenditure in male athletes with a spinal cord injury	Pelly, Fiona E. Broad, Elizabeth M. Stuart, Natalie Holmes, Mark A.	Journal of Spinal Cord Medicine	2018	10.1080/10790268.2017.1317060	Artículo	Investigar si existen diferencias en el gasto de energía en reposo y la composición corporal de los atletas con una lesión de la médula espinal (SCI) en comparación con los controles activos sin discapacidad. Las diferencias entre el REE pronosticado y medido en los atletas con SCI no fueron estadísticamente significativas (a excepción de la ecuación de Owen), sin embargo, no hubo una correlación significativa entre las medidas.	5	Completo	Patología
34	BodyPump versus traditional heavy load resistance training on changes in resting metabolic rate in overweight untrained women.	Rustaden, Anne M Gjestvang, Christina Bø, Kari Hagen Haakstad, Lene A Paulsen, Gøran	The Journal of sports medicine and physical fitness	2018	10.23736/S0022-4707.17.07613-7	Artículo	Examinar los efectos de doce semanas de BodyPump, en GER en mujeres no entrenadas anteriores con IMC ≥ 25.0 , y comparar los resultados con RT de carga pesada individual.	2	Título	No AF
35	Differences in Resting Metabolic Rate between BodyMetrix™ and Indirect Calorimetry in South	Krkelj, Zarko Engelbrecht, Louise Terblanch	Measurement in Physical Education and	2019	10.1080/1091367X.2018.1557661	Artículo	La evaluación precisa de la GER es necesaria para las recomendaciones basadas en calorías en las intervenciones de dieta y ejercicio. BodyMetrix™ es un dispositivo basado en ultrasonido que proporciona una estimación de	4	Abstrac	No AF

	African Adults	e, Elmarie	Exercise Science				GER en función de la composición corporal, se evaluó la EP de Katch-McArdle utilizada por BodyMetrix™, con la calorimetría indirecta, las ecuaciones de predicción de Harris-Benedict, la OMS y Sabounchi de GER.			
36	Elite male Flat jockeys display lower bone density and lower resting metabolic rate than their female counterparts: Implications for athlete welfare	Wilson, George Hill, Jerry Sale, Craig Morton, et al.	Applied Physiology, Nutrition and Metabolism	2015	10.1139/apnm-2015-0354	Artículo	Comparación de la densidad ósea y GER en hombres y mujeres con jinetes planos..	1	Abstrac	No EP
37	Energy expenditure of rugby players during a 14-day in-season period, measured using doubly labelled water	Smith, Deborah R. King, R. F.G.J. Duckworth, L. C. et al	European Journal of Applied Physiology	2018	10.1007/s00421-018-3804-4	Artículo	Este estudio cuantificó la GET de 27 jugadores masculinos de élite de la liga de rugby durante un período de temporada de 14 días usando agua doblemente etiquetada (DLW). Y se comparó con la estimada, utilizando EP. El GER se midió utilizando calorimetría indirecta y se estimó el nivel de actividad física (PAL)	5	Completo	Aceptado
38	Energy availability and the female athlete triad in elite endurance athletes	Melin, A. Tornberg, B. Skouby, S. Møller, S. et al	Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports	2015	10.1111/sms.12261	Artículo	Examinar las asociaciones entre la baja disponibilidad de energía y la disfunción menstrual, el metabolismo energético y la prevalencia de afecciones asociadas a la Tríada en atletas de resistencia	1	Abstrac	No EP
39	Low resting metabolic rate in exercise-associated amenorrhea is not due to a reduced proportion of highly	Koehler, Karsten Williams, Nancy I. Mallinson, Rebecca	American Journal of Physiology - Endocrinology and	2016	10.1152/ajpendo.00110.2016	Artículo	Para explorar si la supresión aparente de GER en mujeres con amenorrea asociada al ejercicio es una consecuencia de una menor proporción de compartimentos metabólicos altamente activos o el resultado de adaptaciones metabólicas relacionadas con la conservación	2	Abstrac	No EP

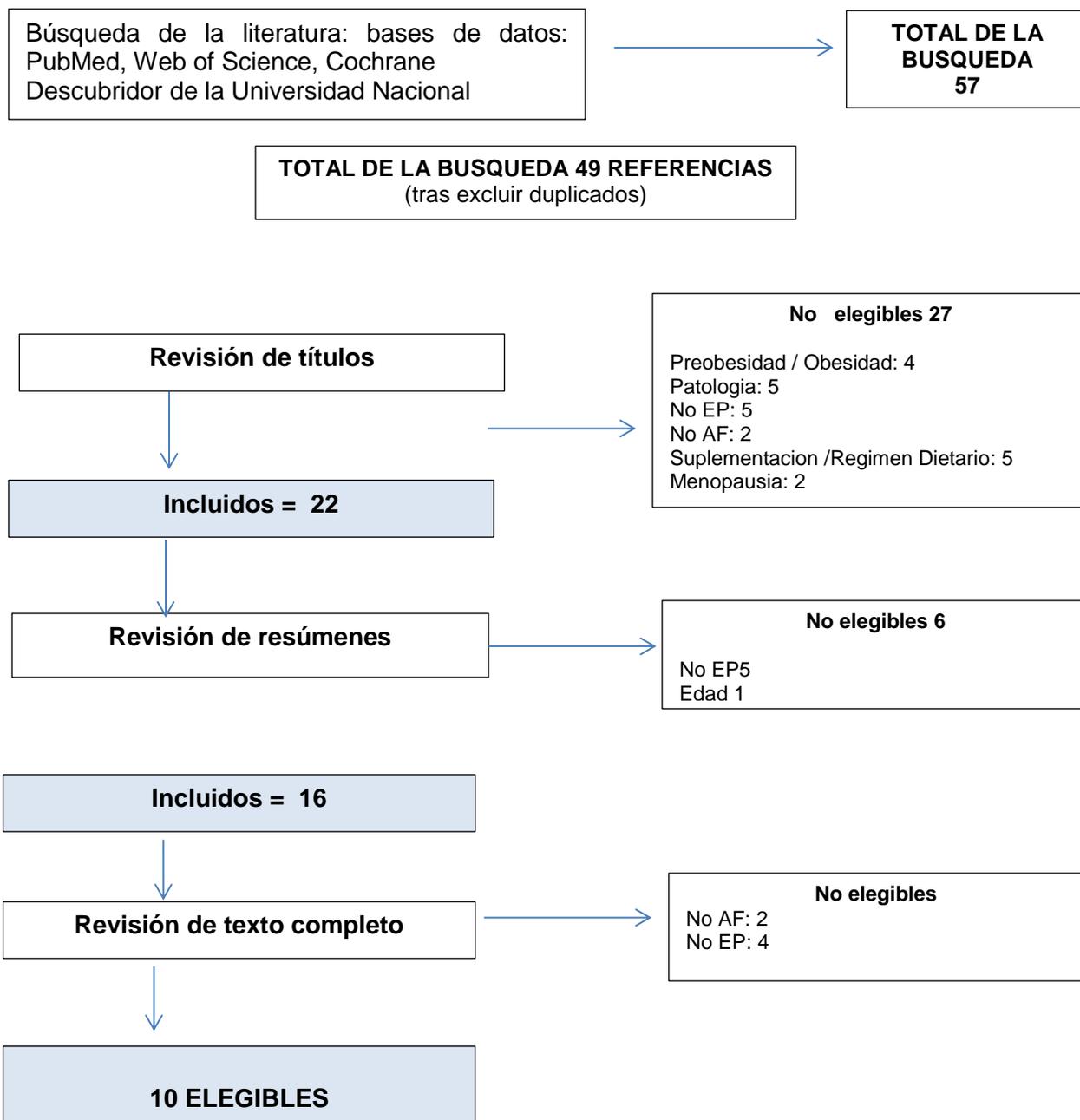
	active metabolic tissue compartments	J. et al	Metabolism				de energía a nivel tisular, se compararon RMR y compartimentos metabólicos entre los tejidos en ejercicio en mujeres con amenorrea y ejercicio en mujeres con ciclos menstruales eumenorreicos y ovulatorios			
40	Resting metabolic rate in muscular physique athletes: Validity of existing methods and development of new prediction equations	Tinsley, Grant M. Graybeal, Austin J. Lane Moore, M.	Applied Physiology, Nutrition and Metabolism	2019	10.1139/apnm-2018-0412	Artículo	La estimación de la tasa metabólica en reposo (RMR) es un paso importante para prescribir la ingesta de energía de un individuo. El propósito de este estudio fue evaluar la validez de los calorímetros indirectos portátiles y las ecuaciones de predicción de RMR en atletas de físico muscular.	5	COMPLETO	Aceptado
41	Low RMRratio as a Surrogate Marker for Energy Deficiency, the Choice of Predictive Equation Vital for Correctly Identifying Male and Female Ballet Dancers at Risk	Staal, Sarah Sjödin, Anders Fahrenholtz et al	International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism	2018	10.1123/ijsem.2017-0327	Artículo	Evaluar la prevalencia del GER/GEB bajo, utilizando diferentes métodos para calcular GER/GEB y explorar asociaciones con marcadores adicionales de deficiencia de energía. Un bajo porcentaje de grasa corporal puede afectar la predicción del GER/GEB cuando se usa Cunningham y Harris-Benedict	5	Completp	Aceptado
42	Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population	Schofield, K. L. Thorpe, H. Sims, S. T	Experimental Physiology	2019	10.1113/EP087512	Artículo	Describir el desarrollo de ecuaciones de GER/GEB y los problemas asociados con el uso de ecuaciones GER/GEB para poblaciones atléticas. necesario una validación de ecuaciones de GER/GEB para atletas y monitoreo cuidadoso de la disponibilidad de energía para y rendimiento, estas ecuaciones pueden volverse más confiables, prestando a mejores resultados.	5	Completp	Aceptado
43	Are Predictive Equations for Estimating Resting Energy Expenditure Accurate in Asian Indian Male Weightlifters?	Mini Joseph, Riddhi Das Gupta, et al	Indian Journal of Endocrinology and Metabolism	2017	10.4103/ijem.IJEM_563_16	Artículo	Evaluar el GER/GEB con calorimetría indirecta y comparar el GER medido (mGER) con ecuaciones publicadas Todas las ecuaciones de GER/GEB subestimaron la predicción de Cunningham con la menor diferencia de 375 kcal y Owen con la mayor diferencia de 636 kcal/día	5	Completp	Aceptado

44	Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: Confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative	Ten Haaf, Twan Weijs, Peter J.M.	PLoS ONE	2014	10.1371/journal.pone.0108460	Artículo	Validar las ecuaciones predictivas GER/GEB existentes y desarrollar una nueva ecuación específica para atletas recreativos. El GER/GEB se puede predecir con precisión con la ecuación de Cunningham	5	Completp	Aceptado
45	Predicting basal metabolic rates in Malaysian adult elite athletes	Jyh Eiin Wong, Bee Koon Poh, Safii Nik Shanita, et al	Singapore medical journal	2012	http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23192502	Artículo	Medir el gasto metabólico basal /reposo (GMR/GEB) de los atletas de élite y desarrollar una ecuación predictiva específica para estimar sus requerimientos de energía. Cunningham sobreestimo la GER/GEB mientras que la ecuación de Ismail et al subestimo la GER/GEB en deportistas elite	5	Completp	Aceptado
46	The Accuracy of Resting Metabolic Rate Prediction Equations in Athletes	Andrew R. Jagim, Clayton L. Cami, Jacob Kisiolek, et al	Journal of Strength and Conditioning Research	2018	10.1519/JSC.00000000000002111	Artículo	Comparar ecuaciones de predicción con el Gold estándar. La ecuación de Cunningham fue la mejor para predecir GER/GEB en deportistas femeninas.	5	Completp	Aceptado
47	Validity of the SenseWear Armband to assess energy expenditure during intermittent exercise and recovery in rugby union players.	Zanetti, Sara Pumpa, Kate L Wheeler, et al	Journal of strength and conditioning research	2014	10.1519/JSC.0000000000000243	Artículo	Los dispositivos portátiles que evalúan el gasto de energía durante el ejercicio y la recuperación intermitentes serían útiles en los deportes de equipo.. El gasto de energía se midió mediante el SenseWear Armband (SWA) y se validó contra la calorimetría indirecta como medida de criterio durante una prueba de ejercicio intermitente específica de rugby de 42 minutos y un período de recuperación inmediato posterior al ejercicio de 10 minutos.	2	Completo	No EP

48	Validity of resting energy expenditure estimated by an activity monitor compared to indirect calorimetry.	Dellava, Jocilyn E Hoffman, Daniel J	The British journal of nutrition	2009	10.1017/S0007114508143537	Articulo	El GER estimado por los monitores de actividad no ha sido validado contra técnicas más precisas, como la calorimetría indirecta (IC). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar GER estimado por el monitor de actividad Actical (ActMon) con el medido por IC y ecuaciones de predicción estándar de REE. Se midió el peso y el porcentaje de grasa corporal de cincuenta adultos sanos entre 18 y 43 años utilizando una balanza digital y una impedancia bioeléctrica.	4	Completo	No AF
49	Fat-free mass can be utilized to assess resting energy expenditure for male athletes of different body size	Oshima, Satomi Miyauchi, Sakiho Kawano, Hiroshi Ishijima, et al	Journal of Nutritional Science and Vitaminology	2012	10.3177/jnsv.57.394	Articulo	El propósito de este estudio fue aclarar la contribución de los componentes de FFM a REE en hombres Atletas	5	Completo	No EP

* Siendo 1 nada cercano y 5 muy cercano con el interés de la investigación

Figura 4. Resumen método de selección de estudios incluidos en esta revisión.



4 Capítulo 4. Resultados

El estudio de Jagim en 2018 comparó 5 ecuaciones de predicción (Tabla 8), con el Gold estándar (CI), en una población de 22 mujeres y 28 hombres atletas de la División III de la Asociación Nacional de Atletismo Colegiado (NCAA); subclasificados en: hombres (fútbol, n = 21; atletismo, n = 4; béisbol, n = 3) mujeres (fútbol, n = 15; natación / buceo, n = 4, atletismo, n = 3). Se evaluó la composición corporal de todos los participantes mediante pletismografía de desplazamiento de aire BodPod que es una herramienta válida para la medición de la composición corporal y está altamente correlacionado con el pesaje hidrostático. La grasa y la MLG se determinaron en función de la masa corporal y el volumen corporal obtenidos del BodPod utilizando la ecuación de Brozek que utiliza la variable MG. (Jagim et al., 2018).

Los deportistas masculinos presentaron cantidades significativamente mayores de estatura y peso corporal y MLG ($p < 0.001$) junto con un porcentaje de grasa corporal significativamente menor ($p < 0.001$) en comparación con las deportistas femeninas.

Tabla 7. EP del GER/GEB utilizadas en el estudio de Jagim

Equations	Formula
Nelson equation (9)	$RMR (kcal \cdot d^{-1}) = 25.80 \times \text{fat-free mass (kg)} + 4.04 \times \text{fat mass (kg)}$
Mifflin-St. Jeor equation (6)	$RMR (kcal \cdot d^{-1}) = 9.99 \times \text{body mass (kg)} + 6.25 \times \text{height (cm)} - 4.92 \times \text{age} + 166 \times \text{sex (men, 1; women, 0)} - 161$
Harris-Benedict equation (4)	Men: $RMR (kcal \cdot d^{-1}) = 66.47 + 13.75 \times \text{body mass (kg)} + 5 \times \text{height (cm)} - 6.76 \times \text{age (y)}$ Women: $RMR (kcal \cdot d^{-1}) = 655.1 + 9.56 \times \text{body mass (kg)} + 1.85 \times \text{height (cm)} - 4.68 \times \text{age (y)}$
De Lorenzo equation (7)	$RMR (kcal \cdot d^{-1}) = -857 + 9 \times \text{body mass (kg)} + 11.7 \times \text{height (cm)}$
Cunningham equation (5)	$RMR (kcal \cdot d^{-1}) = 500 + 22 \times \text{fat-free mass (kg)}$

*RMR = resting metabolic rate.

Tomado de (Jagim et al., 2018)

En este estudio se observó que todas las ecuaciones analizadas subestimaron el GEB/GER en el grupo de los hombres, sin embargo, la ecuación de Cunningham en comparación con la CI, fue la que menor diferencia obtuvo (165 kcals) con un valor $p < 0.001$ (Tabla 9). Para las mujeres las ecuaciones de Nelson, Mifflin-St. Jeor y Harris-Benedict subestimaron el GEB/GER mientras que las ecuaciones de De Lorenzo y Cunningham lo sobreestimaron, esta última con una diferencia de 39 kcal con un valor $p < 0.11$ lo que significa que el valor de la predicción y el de la CI es casi el mismo con esta ecuación. (Tabla 10) (Jagim et al., 2018)

Tabla 8. Comparación de EP vs CI en hombres.

RMR assessment method	RMR	Mean difference	p
RMR measured	2,405 ± 290		
Nelson equation (8)	2,109 ± 212	296 ± 220	<0.001‡
Mifflin-St. Jeor equation (6)	1987 ± 178	418 ± 210	<0.001‡
Harris-Benedict equation (4)	2,139 ± 236	266 ± 204	<0.001‡
De Lorenzo equation (7)	2,123 ± 181	282 ± 229	<0.001‡
Cunningham equation (5)	2,240 ± 158	165 ± 235	0.001‡

*RMR = resting metabolic rate.
 †Mean ± SD.
 ‡Signifies statistical difference between RMR measured and RMR predicted value ($p < 0.01$).

Tomado de (Jagim et al., 2018)

Tabla 9. Comparación de EP del GER/GEB vs CI en mujeres.

RMR assessment method	RMR (kcal/d)	Mean difference (kcal/d)	p
RMR measured	1,544 ± 155		
Nelson equation (8)	1,331 ± 119	213 ± 97	<0.001‡
Mifflin-St. Jeor equation (6)	1,414 ± 96	130 ± 106	<0.001‡
Harris-Benedict equation (4)	1,475 ± 76	69 ± 105	0.007‡
De Lorenzo equation (7)	1,659 ± 113	-115 ± 118	<0.001‡
Cunningham equation (5)	1,583 ± 96	-39 ± 108	0.111

*RMR = resting metabolic rate.
 ‡Mean ± SD.
 ‡Signifies statistical difference between RMR measured and RMR predicted value (p < 0.01).

Tomado de (Jagim et al., 2018)

Para el análisis estadístico utilizaron regresión lineal, los valores pronosticados de GER/GEB con las diversas ecuaciones varió de un *Error Estándar de Estimación* (SEE) de 206 kcal/d para la ecuación de Harris - Benedict, a 240 kcal/d para la ecuación de Cunningham, lo que representa para el grupo masculino una varianza del 51% y el 34% respectivamente. De esta forma se encontró que la ecuación de Harris -Benedict es la fórmula de predicción más precisa con el valor del *Error Cuadrático Medio* (RMSE) más bajo de 284 kcal mientras que la ecuación Mifflin arrojó el más alto 466 kcal para el grupo de hombres. (Tabla 11)

Tabla 10. Resultados del análisis de regresión entre el GEB/ GER medido y pronosticado en hombres

Equation	Intercept (mean ± SE)	Slope (mean ± SE)	R ²	SEE	RMSE	% RMSE
Nelson equation (8)	518 ± 428	0.90 ± 0.20	0.431	223	366	15
Mifflin-St. Jeor equation (6)	174 ± 458	1.1 ± 0.23	0.479	213	466	19
Harris-Benedict equation (4)	528 ± 362	0.88 ± 0.17	0.511	206	284	12
De Lorenzo equation (7)	330 ± 529	0.98 ± 0.25	0.373	233	333	14
Cunningham equation (5)	8.47 ± 656	1.07 ± 0.29	0.340	240	361	15

*RMR = resting metabolic rate; RMSE = root-mean-squared error (kcal); %RMSE = percent difference in RMSE (measured-predicted); SEE = standard error of estimate.

Tomado de (Jagim et al., 2018)

En las mujeres al hacer la regresión lineal las variaciones en los valores de GER/GEB pronosticados de las diferentes ecuaciones variaron desde un SEE 95 kcal/d de la ecuación de Harris-Benedict de un SEE 121kcal/d de la ecuación De Lorenzo, representando el 64 y el 43% de la varianza, respectivamente. Se encontró que la ecuación de Cunningham era la ecuación de predicción más precisa con el valor RMSE más bajo de 110 kcal. (Tabla 12). (Jagim et al., 2018)

Tabla 11. Resultados del análisis de regresión entre el GEB/ GER medido pronosticado en mujeres

Equation	Intercept (mean ± SE)	Slope (mean ± SE)	R ²	SEE	RMSE	% RMSE
Nelson equation (8)	192 ± 250	1.02 ± 0.19	0.609	100	228	15
Mifflin-St. Jeor equation (6)	-160 ± 353	1.21 ± 0.25	0.551	107	162	10
Harris-Benedict equation (4)	-877 ± 415	1.88 ± 0.39	0.642	95	120	8
De Lorenzo equation (7)	57 ± 397	0.90 ± 0.24	0.426	121	159	10
Cunningham equation (5)	-332 ± 403	1.18 ± 0.25	0.531	109	110	7

*RMR = resting metabolic rate; RMSE = root-mean-squared error (kcal); %RMSE = percent difference in RMSE (measured-predicted); SEE = standard error of estimate.

Tomado de (Jagim et al., 2018)

Según los resultados de este estudio la ecuación de ecuación de Cunningham fue la mejor para predecir el GER/GEB en deportistas femeninas. La ecuación de Harris Benedict obtuvo un valor RMSE más bajo y se consideró el más preciso, aunque sigue siendo significativamente diferente al GER/GEB medido. (Jagim et al., 2018)

La ecuación de Cunningham fue desarrollada en el año 1980, para el planteamiento de dicha ecuación se estudió una población de 223 individuos adultos saludables, tomados directamente del estudio clásico del metabolismo de Harris- Benedict publicado en 1918; se excluyeron 16 adultos masculinos pues se determinó que eran deportistas. La muestra total evaluada fueron 120 hombres y 103 mujeres, las variables que se incluyeron fueron: edad, talla y peso; los valores para GER/GEB en calorías por día fueron recalculados y redondeados al más cercano 10 Cal, representando la máxima significancia estadística posible, asumiendo que el consumo de oxígeno por minuto precisó a 10 ml. (Cunningham, 1980)

Para la composición corporal como no fue reportada en el estudio de Harris- Benedict, Cunningham estimo MLG por ecuaciones. (Tabla 13). Donde M es masa en Kg y A es la edad en años. Para el análisis estadístico se realizó un análisis de regresión múltiple para los predictores de GER/GEB basándose en un estudio de Kleiber en el que utilizó los mismos datos para área de superficie corporal correlacionado con GER/GEB, pero en este estudio esta variable no se utilizó. (Cunningham, 1980)

Tabla 123 .Ecuación MGL propuesta por Cunningham

$$\text{male LBM} = (79.5 - 0.24 M - 0.15 A) \times M + 73.2$$

$$\text{female LBM} = (69.8 - 0.26 M - 0.12 A) \times M + 73.2$$

Tomado de (Cunningham, 1980)

El estudio de Haaf y Weijs pretendió validar 14 ecuaciones existentes que se desarrollaron en diversos tipos de población no deportista que se muestran en la (Tabla 14) y también desarrollar dos EP, una que incluyeran MLG (Tabla 15) en una población específicamente deportista (atletismo larga distancia, atletismo sprint, ciclismo, gimnasia, aptitud, remo/piragüismo, nado, deportes de equipo- hockey, futbol, voleibol, korfall-, otros deportes - artes marciales, baile, patinaje, tenis-), durante al menos 3 horas al día/ 2 veces por semana, con edad de entre 18 y 35 años.(Ten Haaf & Weijs, 2014)

Tabla 13. EP del GER/GEB usadas en el estudio de Haaf y Weijs

Equation	Sample size	Remarks on population
Cunningham [17]	M = 120 F = 103	Healthy adults, trained athletes were excluded
De Lorenzo [13]	M = 51	Athletes, exercising at least 3 hours a day
FAO [21]	N = 11000	Mainly based on Schofield data, also including group mean values also
FAO (height) [21]	N = 11000	Mainly based on Schofield data, also including group mean values
Harris-Benedict 1919 [21]	M = 136 F = 103	Mainly normal weight subject
Harris-Benedict 1984 [28]	M = 168 F = 169	Mainly normal weight subject
Mifflin [18]	M = 251 F = 247	Including obese subjects
Mifflin (FFM) [18]	M = 251 F = 247	Including obese subjects
Owen [19,20]	M = 60 F = 44	Including obese subjects
Owen (FFM) [19,20]	M = 60 F = 44	Including obese subjects
Schofield [29]	M = 3575 F = 1239	47% Italian subjects
Schofield (height) [29]	M = 3575 F = 1239	47% Italian subjects

Tomado de (Ten Haaf & Weijs, 2014)

Tabla 145. EP basada en MLG desarrollada por Ten Haaf & Weijs

$$GER \text{ (kJ/d)} = 49.940 * \text{peso (Kg)} + 2459.053 * \text{talla (m)} - 31.014 * \text{edad (años)} + 799.257 * \text{sexo} \\ (M=1, F=0) + 1.22.502$$

O

$$GER \text{ (Kcal/d)} = 11.936 * \text{peso (Kg)} + 587.728 * \text{talla (m)} - 8.129 * \text{edad (años)} + 191.027 * \text{sexo} \\ (M=1, F=0) + 29.279$$

Y basada en MLG

$$GER \text{ (kJ/d)} = 95.272 * \text{MLG (kg)} + 2026.161$$

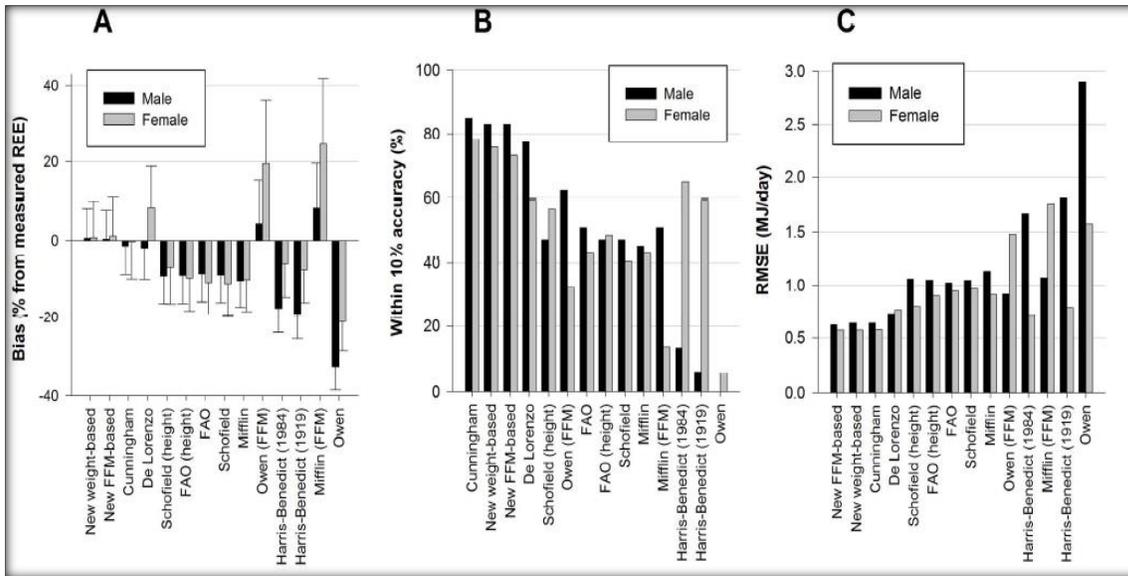
O

$$GER \text{ (Kcal/d)} = 22.771 * \text{MLG (Kg)} + 484.264$$

Ajustado de (Ten Haaf & Weijs, 2014)

De las catorce EP utilizadas en este estudio se evidencia en la figura 5B que la ecuación de Cunningham obtuvo el porcentaje más alto de precisión del GER/GEB en comparación de las otras ecuaciones analizadas, (M 84.9%; F 78.4%); a pesar que esta ecuación originalmente excluyó a personas con algún régimen de entrenamiento deportivo, seguido por la nueva ecuación basada en peso (M 83.0%; F 75.7%) y la nueva ecuación basada en MLG (M 83,0%; F 72,3%) y por último la ecuación De Lorenzo (M 77.4%; F 59.5%), todas las demás ecuaciones de uso general mostraron menos del 50% de precisión. De otra parte se observó que el sesgo más bajo fue para la ecuación de Cunningham, seguido por ambas nuevas ecuaciones y De Lorenzo (Figura 5A). La nueva ecuación basada en MLG presentó una diferencia más baja de error (RMSE), cuando se compara el valor de medido (CI) con el valor observado (predicción), seguido por la ecuación de Cunningham y posteriormente con la ecuación basada en peso y finalmente de este grupo la ecuación De Lorenzo. (Figura 5C). (Haaf & Weijs, 2014)

Figura 5. Medidas de resultado para las ecuaciones predictivas de GER/GEB para hombres y mujeres (A) Porcentaje sesgo (SD), (B) porcentaje de predicciones GER precisas y (C) Error cuadrático medio de raíz (MJ / día).

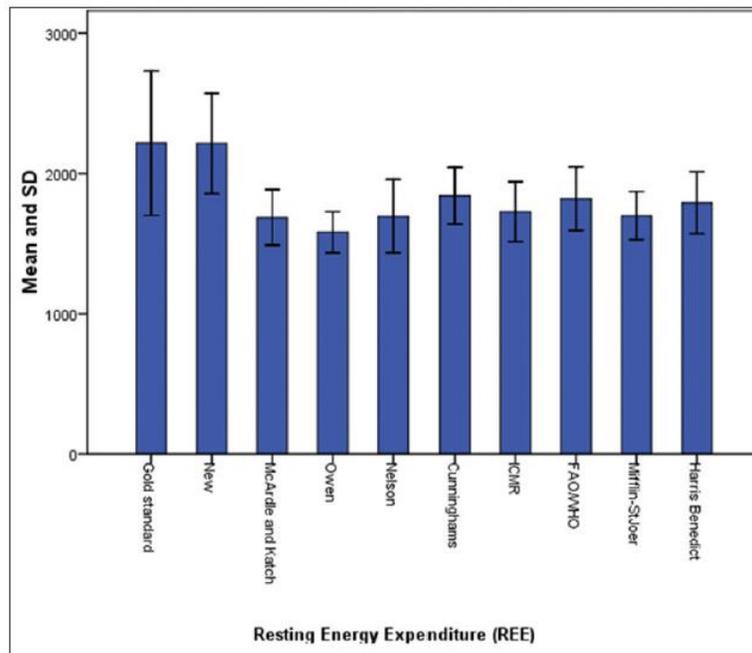


Tomado de (Ten Haaf & Weijjs, 2014)

Este estudio sugiere utilizar una ecuación de predicción de GER/GEB de acuerdo a la población de estudio, teniendo en cuenta la composición corporal el sexo y la AF, motivo por el cual desarrollaron una ecuación de predicción basada en peso, la cual proponen se puede utilizar cuando no sea posible acceder a la composición corporal en una población holandesa y concluyen que de las ecuaciones existentes analizadas en este estudio la de mejor predicción con mayor porcentaje de precisión fue la ecuación de Cunningham. (Ten Haaf & Weijjs, 2014)

En la revisión de la literatura se encontró un estudio realizado en una población de 30 levantadores de pesas masculinos asiáticos, comparando ocho ecuaciones de predicción (Harris-Benedict, Mifflin-St. Jeor, FAO / OMS / ONU, ICMR, Cunningham, Owen, Katch-McArdle y Nelson) con la CI. Encontrando que las todas las ecuaciones subestimaron la predicción del GER/GEB, Cunningham con la menor diferencia de 375 kcal y Owen con la mayor diferencia de 636 kcal/día, Figura 6. (Joseph, Gupta, Prema, Inbakumari, & Thomas, 2017)

Figura 6. EP vs CI estudio asiático



Tomado de: (Joseph, Gupta, Prema, Inbakumari, & Thomas, 2017)

Este estudio demostró por medio de un análisis de regresión lineal múltiple que la MLG fue la variable de mayor significancia para la GER/GEB, motivo por el cual desarrollaron una nueva ecuación: $GER = -164.065 + 0.039 (MLG)$ que se aproximó más al GER/GEB medido. (Joseph et al., 2017).

En contraste un estudio brasilero realizado en 2016 en deportistas paralímpicos de atletismo (19 masculinos y 11 femeninos) los cuales fueron agrupados de acuerdo a su funcionalidad en: discapacidad visual (DV), deficiencia de extremidades (DE) y parálisis cerebral (PC), se comparó el GER/GEB medida por calorimetría indirecta con ocho ecuaciones de predicción, dos de las cuales incluían la variable MGL, los datos de composición corporal se obtuvieron mediante medidas de pliegues cutáneos. (Tabla 16) (Juzwiak, Winckler, Joaquim, Silva, & de Mello, 2016)

Tabla 15. EP del GER/ GEB del estudio Brasil

Author (Year)	Predictive Equations
1. Cunningham (1991)	$BMR = 370 + 21.6 \times (FFM)$
2. Cunningham (1980)	$BMR = 500 + 22 \times (FFM)$
3. Owen (1987)	
Male	$BMR = 290 + 22.3 \times (FFM)$
4. Owen et al. (1986)	
Female	$BMR = 50.4 + 21.1 \times (BM)$
5. Harris & Benedict (1919)	
Male	$BMR = 66.47 + 13.75 \times (BM) + 5 \times (H) - 6.76 \times (A)$
Female	$BMR = 655.1 + 9.56 \times (BM) + 1.85 \times (H) - 4.68 \times (A)$
6. DRI 2005 (adults)	
Male	$BMR = 293 - 3.8 \times (A) + 456.4 \times (H^*) + 10.12 \times (BM)$
Female	$BMR = 255 - 2.35 \times (A) + 361.6 \times (H^*) + 9.39 \times (BM)$
7. FAO/OMS (1985)	
Male	
18-30 y	$BMR = 15.3 \times (BM) + 679$
30-60 y	$BMR = 11.6 \times (BM) + 879$
Female	
18-30 y	$BMR = 14.7 \times (BM) + 496$
30-60 y	$BMR = 8.7 \times (BM) + 829$
8. Mifflin et al. (1990)	
Male	$BMR = 9.99 \times (BM) + 6.25 \times (H) - 4.92 \times (A) + 166 \times (1) - 161$
Female	$BMR = 9.99 \times (BM) + 6.25 \times (H) - 4.92 \times (A) + 166 \times (0) - 161$

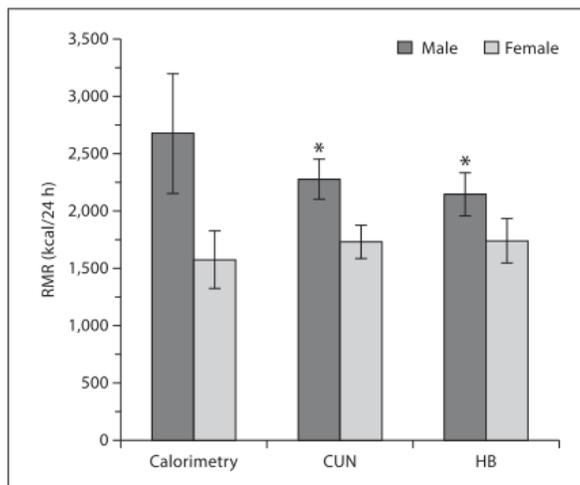
Note. BRM = Basal Metabolic Rate (kcal/day); BM = Body Mass (kg); H = Height (cm); H* = Height (m); FFM = Fat-free mass (kg); A = age (years).

Tomado de: (Juzwiak et al., 2016)

En sus resultados se evidenció que la ecuación de Cunningham sobreestima el GER/GEB en un 24%, 23% y 22% para DV DE, y PC, respectivamente y que la mejor ecuación de predicción en este grupo de deportistas fue la ecuación de Owen para el grupo de DE y PC seguido de la ecuación de Mifflin. (Juzwiak et al., 2016)

Carlsohn y su equipo verificaron la aplicabilidad de las ecuaciones de Cunningham y Harris-Benedict para la población de 17 deportistas alemanes; con CI, la MG se estimó a través 10 pliegues cutáneos y la MLG se calculó a partir de la masa corporal total y la masa grasa corporal. Como resultados ambas ecuaciones en el género masculino subestimaron la predicción de la GER/GEB pero para las deportistas femeninas no hubo diferencia significativa. (Figura 7) (Carlsohn, Scharhag-Rosenberger, Cassel, & Mayer, 2011)

Figura 7. Comparación de EP de Cunningham y Harris – Benedict vs CI en hombres y mujeres.

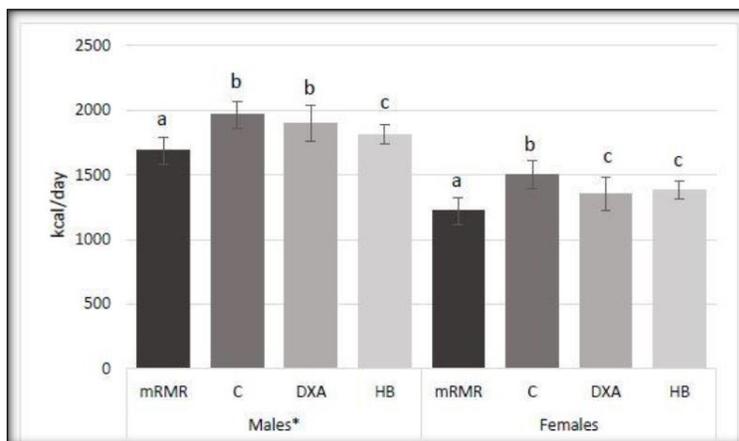


Tomado de (Carlsohn, Scharhag-Rosenberger, Cassel, & Mayer, 2011)

Un estudio en bailarines de ballet mujeres (n= 20) y hombres (n= 20) de 19 a 35 años de edad comparo ecuaciones de predicción de Cunningham y Harris- Benedict y con el método de DXA basado en diferentes compartimientos tisulares corporales contra la medición por calorimetría indirecta. (Sarah Staal, Anders Sjödín, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, 2014)

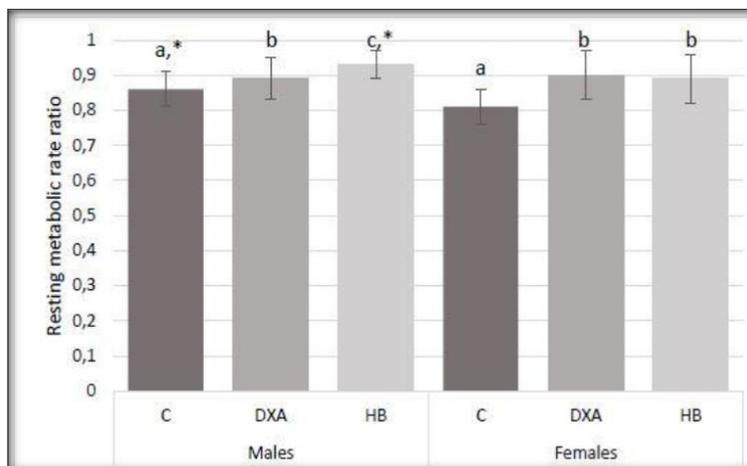
Para la predicción de la relación para la ecuación de Cunningham y la predicción de la relación de Harris Benedict fue más alto para los hombres en comparación con las mujeres, (Figura 8) Aunque no se encontraron diferencias entre los géneros para la relación DXA (Figura 9); sin embargo, con una menor relación para la ecuación de Cunningham en comparación con Harris- Benedict y DXA. (Sarah Staal, Anders Sjödín, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, 2014)

Figura 8. GER/GEB medido por EP y DXA



Tomado de: (Sarah Staal, Anders Sjödín, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, 2014)

Figura 9. Comparación GER ratio en sujetos masculinos y femeninos



Tomado de: (Sarah Staal, Anders Sjödín, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, 2014)

Abreviaturas: C: Cunningham; DXA: absorciometría de rayos X de energía dual; HB: Harris-Benedict. Letras diferentes denotan diferencias significativas. * Diferencia estadística entre sujetos femeninos y masculinos, en Figura 8 el RMR o GER de los hombres fue mayor en comparación con las mujeres en todos los casos.

Encontraron que tanto el cálculo de calorías/días como el GER/GEB medido y pronosticado fue mayor en hombres que en mujeres, teniendo en cuenta que los primeros tenían una mayor estatura; sin embargo, el GER medido (mRMR) fue más bajo cuando se ajustó para MLG (FFM), pues los hombres presentan un porcentaje más alto de MLG con respecto de las mujeres. (Tabla 17)(Sarah Staal, Anders Sjödin, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, 2014)

Tabla 16. Características de la población, EP usadas en el estudio y composición corporal

	Females (n = 20)	Males (n = 20)	P-value
Age (years)	25.1 ± 4.8	24.5 (21.0 - 28.5)	0.79
Height (cm)	170.4 ± 4.9	183.0 ± 4.4	< 0.001
Weight (kg)	55.1 ± 5.4	72.8 ± 4.6	< 0.001
BMI (kg/m ²)	18.7 (18.1 - 19.4)	21.7 (20.7 - 22.1)	< 0.001
FM (%)	17.3 ± 4.7	8.0 (6.4 - 11.2)	< 0.001
FM (kg)	9.8 ± 3.0	5.6 (5.0 - 8.6)	0.001
FFM (%)	82.4 ± 4.7	92.0 (88.8 - 93.6)	< 0.001
FFM (kg)	45.6 ± 4.9	66.7 ± 4.7	< 0.001
Training (h/wk)	33.3 ± 11.9	35.0 ± 11.3	0.75
Years of dancing	16.5 (14.8 - 24.8)	14.0 (12.8 - 18.8)	0.07
P ^C RMR kcal/day	1504 ± 108.4 ^a	1967 ± 104.0 ^a	<0.001
P ^{HB} RMR kcal/day	1355 ± 127.2 ^b	1896 ± 135.9 ^a	<0.001
P ^{DXA} RMR kcal/day	1378 ± 69.6 ^b	1813 ± 73.1 ^b	<0.001
mRMR kcal/day	1215 ± 106.90	1692 ± 103.70	< 0.001
mRMR (kcal/kg FFM/day)	26.9 ± 2.20	25.3 ± 1.60	0.02
Total EDRS	8.9 (3.8 - 18.8)	10.0 (3.0 - 16.0)	0.86
Total EDI-3 score	32.9 (20.8 - 54.0)	54.5 ± 28.9	0.19
DT-score	1.5 (0.0 - 6.0)	1.0 (0.8 - 6.3)	0.73
BD-score	4.5 (2.8 - 10.3)	6.0 (1.0 - 9.0)	0.89
Systolic BP	103.1 ± 10.2	115.3 ± 10.2	< 0.001
Diastolic BP	65.7 ± 8.6	65.3 ± 9.1	0.88

Abbreviations: BD: body dissatisfaction; BMI: body mass index; BP: blood pressure; DT: drive for thinness; FM: fat mass; FFM: fat-free mass; mRMR: measured resting metabolic rate; P^CRMR kcal/day: predicted resting metabolic rate by Cunningham equation; P^{HB}RMR kcal/day: predicted resting metabolic rate by Harris-Benedict equation; P^{DXA}RMR kcal/day: predicted resting metabolic rate by Dual-energy X-ray Absorptiometry derived method.

La prevalencia de la subestimación del GER/GEB encontrado en este grupo de bailarines de ballet fue alta; no obstante, sugieren que el cálculo es dependiente del método utilizado para calcular el GER/GEB predictivo, que varía de 25 al 80% en hombres y del 35 al 100% en mujeres. Por lo tanto, la elección de la ecuación es esencial para identificar

correctamente a los deportistas en este estudio como indicador de déficit de energía. (Sarah Staal, Anders Sjödin, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, 2014)

Jyh Eiin Wong et al, en una población de 125 atletas de élite (hombres n= 92; mujeres n = 33; edad 18–31 años) de 15 deportes, que habían entrenado durante seis horas diarias durante al menos un año, del Complejo Nacional de Deportes en Bukit Jalil, Kuala Lumpur, Malasia, examinaron cuatro de las ecuaciones predictivas con respecto del estándar CI, también desarrollaron una nueva ecuación de predicción y analizaron la composición corporal, utilizando la técnica de BIA. (Tabla 18) (Wong et al., 2012)

Tabla 17. EP de GER/GEB para hombres y mujeres de edad 18-30 años incluidos en el estudio.

Method	BMR predictive equations	
	Men	Women
FAO/WHO/UNU ⁽⁴⁾ (MJ/day)	0.064 W + 2.84	0.0615 W + 2.08
Ismail et al ⁽¹⁵⁾ (MJ/day)	0.055 W + 2.480	0.0535 W + 1.994
De Lorenzo et al ⁽²⁰⁾ (kcal/day)	-857 + 9.0 W + 11.7 H	--
Cunningham ⁽³²⁾ (MJ/day)	500 + 22 LBM	500 + 22 LBM
Harris et al ⁽³³⁾ (kcal/day)	66.5 + 13.75 W + 5.003 H - 6.775 A	655.1 + 9.563 W + 1.850 H - 4.676 A

A: age in years; H: height in cm; LBM: lean body mass in kg; W: weight in kg

Tomado de: (Wong et al., 2012)

Las ecuaciones predictivas de Cunningham y la FAO/OMS/ONU sobreestimaron o subestimaron el GER/GEB medido hasta en un ± 6%, mientras que la ecuación de Ismail et al, desarrollada a partir de la población local no deportiva, subestimó la GER/GEB medido en un 14%. (Tabla 19).

Tabla 18. Comparación del GER/GEB estimado por CI y estimado mediante EP

Method	Mean BMR ± SD			
	Men (n = 92)		Women (n = 33)	
	Indirect calorimetry (kcal/day)	Predictive equations (kcal/kg/day)	Indirect calorimetry (kcal/day)	Predictive equations (kcal/kg/day)
Measured (present study)	1,715 ± 204	26.2 ± 3.0	1,384 ± 147	25.1 ± 3.1
Estimated				
FAO/WHO/UNU ⁽⁴⁾	1,690 ± 130	25.7 ± 1.3	1,311 ± 83 [*]	23.8 ± 1.0 [*]
Ismail et al ⁽¹⁵⁾	1,461 ± 111 [†]	22.3 ± 1.2 [†]	1,185 ± 72 [†]	21.5 ± 0.9 [†]
De Lorenzo et al ⁽²⁰⁾	1,734 ± 129	26.5 ± 2.0	--	--
Cunningham ⁽³²⁾	1,760 ± 163 [*]	26.8 ± 1.6 [*]	1,451 ± 81 [*]	26.3 ± 1.6 [*]
Harris et al ⁽³³⁾	1,684 ± 140	25.6 ± 1.4	1,387 ± 57	25.2 ± 1.6

*p < 0.05 according to paired t-tests. †p < 0.001 according to paired t-tests. ‡p < 0.01 according to paired t-tests.
BMR: basal metabolic rate; SD: standard deviation

Tomado de: (Wong et al., 2012)

Sus resultados mostraron que las ecuaciones de Cunningham e Ismail et al no fueron adecuadas para adultos competitivos, pues la variación de la primera ecuación entre los valores medidos y pronosticados de GER/GEB fue en promedio de -5.7% a 14.1% independientemente de la edad y el género. Todas las ecuaciones predictivas, excepto la ecuación de Cunningham, subestimaron el cálculo. (Tabla 19) En contra parte la ecuación nueva que presentan de Ismail et al, derivó de un adulto sedentario y físicamente no entrenado en donde se estimó el GER/GEB por la técnica de bolsa Douglas, subestimó el GER/GEB en 14.1% para hombres y 13.7% para mujeres. Este hallazgo enfatizó aún más la influencia de etnia y entrenamiento físico en el GER/GEB. (Wong et al., 2012)

Concluyen que puede ser validadas estas ecuaciones para estimaciones en adultos no entrenados y que para su población hacer comparaciones con fórmulas que se han determinado en población caucásica presento diferencias sobreestimando la predicción pues generalmente varían en la composición corporal, más altos y mayor % MLG en comparación con la población malasia y por lo tanto poseen GER/GEB más altos (Wong et al., 2012).

5 Capítulo 5. Discusión

El objetivo de esta revisión fue explorar en la literatura científica algunas de las ecuaciones que existen de predicción del GER/GEB descritas como parte de la determinación de las necesidades energéticas en personas físicamente activas, se encontraron diversas ecuaciones que en su estructura emplean diferentes variables de composición corporal, algunas de ellas incluyen en su planteamiento la fracción MLG para la determinación del GER/GEB específicamente en población sana con las características de actividad física descrita anteriormente. En la Tabla 20 se encuentra el resumen de los artículos seleccionados para esta revisión del estado del arte.

Tabla 19. Estudios seleccionados sobre EP del GEB/GER en personas físicamente activas.

ESTUDIO	AUTORES	OBJETIVO	TIPO POBLACION DE	ECUACIONES	RESULTADOS
The Accuracy of Resting Metabolic Rate Prediction Equations in Athletes	Andrew R. Jagim, Clayton L. Cami, Jacob Kisirolek, et al 2018	Comparar ecuaciones de predicción con el Gold estándar.	22 mujeres y 28 hombres atletas de la División III de la Asociación Nacional de Atletismo Colegiado	Harris- Benedict, Cunningham, De Lorenzo, Mifflin St Jeor, Nelson	La ecuación de Cunningham fue la mejor para predecir GER/GEB en deportistas femeninas.
Predicting basal metabolic rates in Malaysian adult elite athletes	Jyh Eiin Wong, Bee Koon Poh, Safii Nik Shanita, et al 2012	Medir el gasto metabólico basal /reposo (GMR/GEB) de los atletas de élite y desarrollar una ecuación predictiva específica para estimar sus requerimientos de energía.	92 hombres y 33 mujeres (de 18 a 31 años) de 15 deportes, que habían estado entrenando seis horas diarias durante al menos un año	Cunningham, FAO / OMS / ONU, Harris y Benedict, e Ismail et al	Cunningham sobreestimo la GER/GEB mientras que la ecuación de Ismail et al subestimo la GER/GEB en deportistas elite.

Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: Confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative	Ten Haaf, Twan Weijs, Peter J.M. 2014	Validar las ecuaciones predictivas GER/GEB existentes y desarrollar una nueva ecuación específica para atletas recreativos.	90 deportistas adultos (53 Masculinos, 37 Femeninos), que practican ejercicio en promedio 9.165.0 horas a la semana y 5.061.8 veces a la semana	Cunningham, De Lorenzo, FAO, Owen, Schofield, Mifflin	El GER/GEB se puede predecir con precisión con la ecuación de Cunningham
Comparison of Measured and Predictive Values of Basal Metabolic Rate in Brazilian Paralympic Track and Field Athletes	Iak, Claudia Ridel Winckler, CiroJuzw Joaquim, et al 2016	Verificar cuál de las ecuaciones de predicción es la más adecuada para su uso en este grupo poblacional	9 atletas masculinos y 11 femeninos agrupados según la clasificación funcional (discapacidad visual-DV, deficiencia de extremidades-DE y parálisis cerebral-CP)	Cunningham, Owen, Harris -B Benedict, FAO / OMS, DRI y Mifflin	Para este grupo específico de atletas, las ecuaciones de Owen y Mifflin proporcionaron las mejores predicciones de GER/GEB
Are Predictive Equations for Estimating Resting Energy Expenditure Accurate in Asian Indian Male Weightlifters?	Mini Joseph, Riddhi Das Gupta, et al 2017	Evaluar el GER/GEB con calorimetría indirecta y comparar el GER medido (mGER) con ecuaciones publicadas	30 levantadores de pesas profesionales masculinos de edades comprendidas entre 17 y 28 años	Harris-Benedict, Mifflin-St. Jeor, FAO / OMS / ONU, ICMR, Cunningham,	Todas las ecuaciones de GER/GEB subestimaron la predicción de Cunningham con la menor diferencia de 375 kcal y Owen con la mayor diferencia de 636 kcal/día
Resting metabolic rate in elite rowers and canoeists: Difference between indirect calorimetry and prediction	Carlsohn, Anja Scharhag-Rosenberger, Friederike Casse, et al 2011	Verificar la aplicabilidad de las predicciones de GER/GEB comúnmente utilizadas para su uso en atletas.	17 remeros y piragüistas altamente entrenados de los equipos nacionales alemanes	Ecuaciones de Cunningham y Harris-Benedict.	Un bajo porcentaje de grasa corporal puede afectar la predicción del GER/GEB cuando se usa Cunningham y Harris-Benedict
Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population	Schofield, K. L. Thorpe, H. Sims, S. T. 2019	Describir el desarrollo de ecuaciones de GER/GEB y los problemas asociados con el uso de ecuaciones GER/GEB para poblaciones atléticas.	Deportistas	Harris- Benedict, Cunningham, De Lorenzo, Mifflin, Owen	Es necesario una validación de ecuaciones de GER/GEB para atletas y monitoreo cuidadoso de la disponibilidad de energía para y rendimiento, estas ecuaciones pueden volverse más confiables, prestando a

					mejores resultados.
Low RMRratio as a Surrogate Marker for Energy Deficiency, the Choice of Predictive Equation Vital for Correctly Identifying Male and Female Ballet Dancers at Risk	Staal, Sarah Sjödin, Anders Fahrenholtz et al 2018	Evaluar la prevalencia del GER/GEB bajo, utilizando diferentes métodos para calcular GER/GEB y explorar asociaciones con marcadores adicionales de deficiencia de energía.	Bailarines de 19 a 35 años	Cunningham y Harris-Benedict,	Un bajo porcentaje de grasa corporal puede afectar la predicción del GER/GEB cuando se usa Cunningham y Harris-Benedict

En los estudios revisados y analizados que cumplieron con todos los criterios de inclusión se observa que emplearon para sus análisis diversas ecuaciones entre ellas se destaca la ecuación de Harris- Benedict la cual fue desarrollada hacia el año 1918 con el título “Un Estudio Biométrico del Metabolismo Basal en el Hombre”. Las mediciones del GER/GEB se realizaron en 136 hombres y 103 mujeres jóvenes sanos en el Laboratorio de Nutrición Carnegie en Boston, indicando que la estatura y el peso tienen un efecto independiente sobre el GER/GEB. (Henry, 2005). Esta ecuación ha sido útil a lo largo de los años para predecir la GER/GEB; sin embargo, algunos estudios (Müller et al., 2004), (Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, 2011), exponen que la ecuación de Harris- Benedict mostro diez veces diferencia entre hombres y mujeres (66 vs 665), pues no se tuvo en cuenta la variación en la composición corporal entre los dos géneros. Benedict reconoció que estas ecuaciones sobreestimaron el GEB/ GEB especialmente en mujeres jóvenes de bajo peso. (Henry, 2005). Lo que demuestra que la composición corporal influye en el cálculo del gasto energético.

Daly en 1985 quiso evaluar el Gasto Metabólico Basal con métodos de calorimetría directa e indirecta y compararlo con la ecuación pionera y de más uso en Estados Unidos; Harris- Benedict (1918). En un grupo de 127 personas de 18 a 67 años de edad que tenían entre el 90% y 125% del peso corporal ideal, sin pérdida de peso reciente, trastornos de alimentación o terapia farmacológica o tratamiento hormonal. Encontró que la ecuación de Harris-Benedict sobrestimó los requerimientos de energía basal entre el 10 y el 15% con una desviación estándar de 12,3 a 11% en 201 estudios de hombres y mujeres sanos. (Daly et al., 1985)

Si bien el estudio de Harris- Benedict en su momento con las condiciones de la época se desarrolló con una técnica meticulosa en el diseño y la ejecución, Daly en sus análisis atribuye las diferencias de los resultados respecto de sus estudios a factores técnicos o variaciones en los métodos de análisis de volúmenes ventilatorios, llevados a cabo con equipos de tecnología más avanzada que los usados por Harris-Benedict, es decir la modernización de los equipos puede contribuir a variaciones entre los resultados, otro factor que atribuye para dicha variación es la capacitación del personal, en sus ensayos evidenció que al realizar mediciones repetidas del GE el resultado disminuye de un 8 a 10% de la medición inicial; adicionalmente es importante considerar las diferencias propias de los sujetos como el nivel de AF, la composición corporal, los factores climáticos e ingesta de alimentos los cuales han variado con el tiempo desde la finalización del estudio de Harris-Benedict (Daly et al., 1985), sin embargo; la facilidad de la ecuación de Harris-Benedict la convirtió en una de las ecuaciones de mayor uso a nivel mundial. (Henry, 2005) (Jagim et al., 2018) En paralelo algunos estudios muestran que esta ecuación demostró ser la más cercana a la medición de CI, cuando se comparó con otras ecuaciones como las de Mifflin–St Jeor (MJ), Owen(OW), World Health Organization (WHO/FAO/UNU) and Lührmann (LM) (Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, 2011)

De otra parte la ecuación que desarrolló Cunningham en la que utilizó la variable de composición corporal, usando un proceso estadístico de análisis de regresión determinó que la variable con mayor predicción del GER/GEB fue la MGL ($r = 0.84$) frente a masa corporal total ($r = 0.86$) lo que representa el 70 % de la variabilidad del GER/GEB, el límite de confianza del 95% para la pendiente de esta regresión es de $\pm 1,9$ por lo que se espera un error de predicción del 10% del GER/GEB individual con esta fórmula. (Anexo 1) La segunda variable añadida es la edad ($r = 0.85$) este componente negativo es compensado por un incremento en termino constante por ejemplo: $GER/GEB (cal/día) = 601.2 + 21 (MLG) - 2,6 (e)$, con los valores de 29 años y 46kg MLG, esta segunda ecuación cambia el GER/GEB predictivo en 1,4 cal/día, lo que significa que la contribución de la edad se debe a cambios en la composición corporal. En este estudio se demostró que el sexo ($r = 0.86$) contribuye un poco más allá de la estimación de GER/GEB, puede ser inclusive menos importante en personas que se desvían del estándar, demostrando que la MLG medida por análisis de regresión para cada sexo por separado, muestra una mayor desviación de 10 cal/día en el grupo masculino y para el 95% de los valores de

MLG las estimación de GER/GEB coinciden en 20 cal/día. El uso del sexo y la edad en el cálculo de la MGL no sesga el análisis de regresión. (Cunningham, 1980)

Miller y Blyth reportaron que el consumo de oxígeno se correlaciono bien con la MGL medido ($r= 0,92$) en 79 sujetos de los cuales 78 eran hombres, esta ecuación de regresión a partir del consumo de oxígeno constante sobrestima la MGL para los hombres en relación con la fórmula del estudio de Cunningham en un promedio de 7,8 kg. Esta regresión produce valores de MGL mayores que el peso corporal para el 34% de los hombres del conjunto de datos de Harris- Benedict. (Cunningham, 1980)

Cunningham concluye que la ecuación de Harris- Benedict en la que se plantea que la masa corporal activa determina la GER/GEB se encuentra soportada en su estudio. El sexo y la edad son factores que influyen en la composición corporal de un individuo, pero esta última es el principal determinante de la GER/GEB. El metabolismo basal en adultos normales puede estimarse a partir de una ecuación lineal simple: $GMB (cal/día) = 500 + 22 (MLG)$. (Cunningham, 1980) la cual reformulo 11 años después $GMB (kcal/día) = MLG (g) \times 21,6 + 370$ (Cunningham, 1991b)(Redondo, 2015)

En el estudio de Jagim se muestra que las ecuaciones de predicción que analizaron incorporan múltiples variables como: composición corporal, estatura, masa corporal y edad; la inclusión de múltiples variables en este estudio pueden haber mejorado la precisión del valor previsto de GER/GEB tanto en mujeres como hombres, la ecuación de Cunningham que basa su modelo en MLG, que aunque para el primer grupo sobreestimo y en el segundo subestimo el cálculo del GER/GEB fue la ecuación que menos se alejó del estándar. (Jagim et al., 2018)

Esto sugiere que las EP pueden calcular con precisión la GER/GEB para personas físicamente activas con algún grado de sub o sobreestimación. Jagim expone que la ecuación de Cunningham en el grupo de los hombres subestimo en 165 kcals en comparación con el Gold Estándar pero fue la que tuvo menor diferencia entre las ecuaciones analizadas y para las mujeres las ecuaciones que subestimaron el GEB/GER fue la ecuación de Nelson, Mifflin-St. Jeor y Harris-Benedict con 95 kcal/d en comparación con la IC, en contraste las ecuaciones de De Lorenzo 121 kcal/d y

Cunningham 39 kcal /d sobreestimaron la predicción pero esta última con la menor diferencia en comparación a la IC. (Jagim et al., 2018).

En el estudio de Wong en el año 2012 (Wong et al., 2012) también se reporta que la ecuación de Cunningham sobreestima el GER/GEB medido hasta en un $\pm 6\%$, mientras que la ecuación de Ismail et al, desarrollada a partir de la población local no deportiva, subestimó la GER/GEB medido en un 14% y en el estudio de Juzwiak llevado a cabo en el 2016 (Juzwiak et al., 2016) subestima el GER/GEB por Cunningham, poniendo de manifiesto la importancia de la caracterización de la población y la composición corporal especialmente con la inclusión de la variable MLG, con estos estudios se demuestra que un porcentaje fuera del rango de normalidad de dicho componente, podría variar significativamente el resultado del cálculo del GER/GEB.

Una de las variables que tuvo gran impacto en el estudio de Juzwiak fue la composición corporal y la MLG, para hombres se encontró 81 ± 8.0 kg MLG con $12,7 \pm 2$ kg % de masa grasa y para mujeres 56.1 ± 7.0 kg MLG y $18.5 \pm 4.0\%$ de masa grasa. Este estudio reporta que sus deportistas masculinos presentaron un promedio más alto MGL pues en población sedentaria o en personas con AF moderada varía entre 32 a 62 kg, mientras que para las deportistas femeninas no se encontraron diferencias con respecto de lo reportado en la literatura. Por lo que se asocia que el error de predicción del GER/GEB es mayor cuando el MLG está bajo o elevado. De esa forma las ecuaciones que integran composición corporal sugieren que a un mayor porcentaje de MLG o mayor estatura puede variar la predicción del cálculo. (Juzwiak et al., 2016)

Como se sabe que la MLG representa el 80% del GER/GEB en el estudio de Carlsohn la conclusión a la que llegan es que la subestimación de la GER/GEB por ecuaciones puede ser producto de un alto contenido de MLG y bajo contenido de grasa corporal. Teniendo en cuenta que este estudio se realizó en deportistas elite, su composición corporal puede tender a ser diferente de otros grupos de deportistas recreacionales tal como lo menciona Haff et al, en su estudio. Por lo cual sugieren tomar la medición del gasto energético en esta población por medio de gasto energético en reposo de forma individual dada la variabilidad de la composición corporal. (Carlsohn et al., 2011)

Varios estudios plantean que los modelos de predicción del GER/GEB pueden ser específicos de la población, Jagim cita en su estudio ecuaciones como de la FAO/OMS/ONU y las ecuaciones de Harris-Benedict para predecir mejor el GER/GEB en adultos con pre obesidad y obesidad, pacientes adultos hospitalizados, o ambulatorios. (Jagim et al., 2018).

Por su parte Haaf y Weijs en su estudio evidencian como las características de la población pueden llegar a contribuir en la variación de la predicción según la ecuación utilizada para el cálculo del GER/GEB, específicamente en la población físicamente activa, por ejemplo, la ecuación De Lorenzo que utiliza variables como peso y estatura que aplican mejor en la práctica deportiva pues esta ecuación es la única que se desarrolló en 51 deportistas; sin embargo, solo fueron del género masculino que practicaban AF al menos 3 horas al día, lo que sugiere que en deportistas masculinos de AF deportiva de competencia subelite estaría validada y que podría representar GER/GEB subestimadas en población de AF solo recreativa. (Ten Haaf & Weijs, 2014)

No existen muchos estudios con deportistas con discapacidad; sin embargo, la muestra analizada en el estudio de Juzwiak fue estadísticamente heterogénea, agrupada por disciplina y discapacidad, como se ha analizado anteriormente, las ecuaciones al parecer son específicas para la población de estudio y ninguna de estas se ha realizado en población con deportistas con discapacidad, así por ejemplo: la ecuación de Cunningham fue desarrollada en población sana de la muestra de Harris- Benedict, motivo por el cual en este estudio se pudo obtener menor significancia estadística y se concluye que para esta población es necesario determinar el GE por CI o con EP con la mejor predicción en esta población específica. (Juzwiak et al., 2016) De ahí que se plantee en casi todos los estudios el desarrollo de nuevas EP específicas para la población a estudiar.

Aunque la ecuación de Cunningham se desarrolló en población general, esta ecuación funcionó mejor que otras ecuaciones existentes permitiendo determinar de manera más cercana o con menor error al patrón de referencia. El cálculo del GEB, sugiriendo que la MLG es un importante predictor del GER/GEB para una población de deportistas recreativos; sin embargo, las ecuaciones basadas en la MLG de Mifflin y Owen no funcionaron de la misma forma, posiblemente porque se desarrollaron en

sujetos delgados y obesos y no se tuvo en cuenta la composición corporal en su formulación.

Es importante tener en cuenta al momento de implementar las ecuaciones de predicción el tipo y nivel de la AF así como los métodos empleados para la estimación de la composición corporal, ya que después de la revisión realizada para este trabajo se encontró que para dicha determinación se emplean diferentes técnicas como la sumatoria de pliegues cutáneos basada en análisis antropométricos (Juzwiak et al., 2016), estimación a través de fórmulas o ecuaciones, o técnicas como el escáner con DXA que podrían tener una implicación en el resultado de la predicción del GER/GEB, (Schofield, Thorpe, & Sims, 2019)

La investigación del gasto metabólico en deporte ha promovido la necesidad en los investigadores de crear y validar ecuaciones de predicción para una población deportiva específica y por géneros; pues existen también estudios que difieren en sus resultados comparados con lo encontrado en la literatura por el tipo de población (raza) con la que crearon las formulas con respecto a la población objetivo (Wong et al., 2012).

6 Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

Existen numerosas ecuaciones de predicción para la determinación del GEB/GER, con los resultados de esta revisión de la literatura se evidencia que la composición corporal especialmente el componente de MLG es un predictor importante del gasto energético pues es el tejido metabólicamente activo de esta manera una de las ecuaciones más importantes es la desarrollada por Cunningham (1991) pues utiliza esta variable.

Al comparar con otras ecuaciones de predicción, Cunningham cuenta con el menor grado de diferencia en la predicción del GER/GEB 10% con respecto al patrón de referencia y en comparación con otras fórmulas analizadas como por ejemplo Harris- Benedict o la ecuación de De Lorenzo que no utilizan la variable de MLG sino peso corporal total.

Se evidenció que las ecuaciones de predicción en general pueden subestimar o sobreestimar la GER/GEB de acuerdo a la composición corporal, tanto en personas obesas o con bajo peso, de esta manera es necesario para el uso de las ecuaciones en personas físicamente activas considerar diferencias antropométricas, el tipo y duración de la AF, el entrenamiento y la composición corporal entre el grupo y entre la población en la que fue desarrollada la ecuación, para usar la fórmula que más se ajuste a la población a estudiar.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda el desarrollo de estudios experimentales en Colombia con Calorimetría Indirecta para el cálculo del GEB/GER y compararlos con ecuaciones de predicción descritas en la literatura, para tener información confiable de con el tipo de población de la región pues en esta revisión no se encontraron estudios latinoamericanos que traten este tema.

7 Capítulo 7. Consideraciones

- Consideraciones Éticas

Las consideraciones éticas para este proyecto se encuentran enmarcadas en la declaración de Helsinki y la Resolución número 8430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia, en las cuales se garantiza el cumplimiento de los principios de beneficencia y no maleficencia, autonomía y justicia.

Se clasifica como investigación sin riesgo según el artículo 11, teniendo en cuenta que se llevara a cabo un estudio de datos secundarios y no se usaran modelos animales ni será recolectada información de seres humanos.

De igual manera, se respetarán los preceptos de derechos de autor plasmados en la Ley 23 de 1982 y su modificación en la Ley 1915 del 12 de julio de 2018.

No existe ningún tipo de conflicto de interés, salvo el de carácter académico.

Anexos

A. Anexo: Análisis de regresión de predictores de GER/GEB

Step	Variable entered ^a	Multiple R	Adjusted R ²	F ratio
1	LBM	0.84	0.70	517.5
2	Age	0.85	0.72	284.3
3	Height	0.85	0.73	193.6
4	Sex	0.86	0.73	150.2
5	Body mass	0.86	0.73	120.5

^a Each step of the regression adds a variable to the previous predictors

Tomado de (Cunningham, 1980)

Referencias

- American Dietetic Association, Dietitians of Canada, & American College of Sports Medicine, et al. (2009). American College of Sports Medicine Position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 709–731. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318190eb86>
- Archiza, B., Welch, J. F., & Sheel, A. W. (2017). Classical experiments in whole-body metabolism: closed-circuit respirometry. *European Journal of Applied Physiology*, 117(10), 1929–1937. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3681-2>
- Armstrong, T., & Bull, F. (2006). Development of the World Health Organization Global Physical Activity Questionnaire (GPAQ). *Journal of Public Health*, 14(2), 66–70. <https://doi.org/10.1007/s10389-006-0024-x>
- Broad, E., & Juzwiak, C. (2018). Sports nutrition in para athletes determining energy requirements. In *ASPETAR Issue targeted topic - paralympic athletes* (pp. 170–175).
- Carlsohn, A., Scharhag-Rosenberger, F., Cassel, M., & Mayer, F. (2011). Resting metabolic rate in elite rowers and canoeists: Difference between indirect calorimetry and prediction. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 58(3), 239–244. <https://doi.org/10.1159/000330119>
- Compher, C., Frankenfield, D., Keim, N., & Roth-Yousey, L. (2006). Best Practice Methods to Apply to Measurement of Resting Metabolic Rate in Adults: A Systematic Review. *Journal of the American Dietetic Association*, 106(6), 881–903. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2006.02.009>
- Cunningham, J. (1980). A reanalysis of the factors influencing metabolic rate in normal. *Am J Clin Nutr*, 30(Noviembre), 2372–2374.

- Cunningham, J. (1991a). Original Body composition a synthetic review general prediction of energy expenditure: as a determinant and a proposed. *Am J Clin Nutr*, 54(February), 963–969.
- Cunningham, J. (1991b). Original Body composition a synthetic review general prediction of energy expenditure: as a determinant and a proposed. *Am J Clin Nutr*, 54, 963–969.
- Daly, J. M., Heymsfield, S. B., Head, C. A., Harvey, L. P., Nixon, D. W., Katzeff, H., & Grossman, G. D. (1985). Human energy requirements: Overestimation by widely used prediction equation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 42(6), 1170–1174. <https://doi.org/10.1093/ajcn/42.6.1170>
- Dasso, N. A. (2019). How is exercise different from physical activity? A concept analysis. *Nursing Forum*, 54(1), 45–52. <https://doi.org/10.1111/nuf.12296>
- De Lorenzo A; Bertini I, C. N. P. R. I. I. B. A. (1999). A new predictive equation to calculate resting metabolic rate in athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 39(3), 213–219.
- De, S., Marcos, C., Silleras, B. D. M., Alicia, M., Martín, C., Carreño, L., ... Redondo, P. (2015). Propuesta de una nueva fórmula de estimación del gasto energético en reposo para población sana española. *Nutr Hosp*, 32(5), 2346–2352. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.5.9680>
- Edgar L, A. A. (2014). Herramienta pico para la formulación y búsqueda de preguntas clínicamente relevantes en la psicooncología basada en la evidencia PICO. *Rev_psic*, 11(2–3), 259–270. <https://doi.org/10.5209/rev>
- Flack, K. D., Siders, W. A., Ms, L. J., & Roemmich, J. N. (2016). Cross-Validation of Resting Metabolic Rate Prediction Equations. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(9), 1413–1422. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.03.018>
- Frankenfield, D. C. (2010). On heat, respiration, and calorimetry. *Nutrition*, 26(10), 939–950. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.01.002>
- G.Christenson, C. C. K. P. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*, 100(2), 126–131. <https://doi.org/10.1093/nq/s9-IX.228.365-f>
- Greenwood, M., Cooke, M. B., Ziegenfuss, T., Kalman, D. S., & Antonio, J. (2009). Macronutrient Intake for Physical Activity. In *Nutritional Supplements in Sports and Exercise* (Vol. 41, p. 441.e7). <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2009.05.003>
- Haaf, T., & Weijs, P. J. M. (2014). Resting Energy Expenditure Prediction in Recreational Athletes of 18 – 35 Years: Confirmation of Cunningham Equation and an Improved

- Weight-Based Alternative. *PLoS One*, 9(10), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108460>
- Hackney, A. C. (2016). Measurement Techniques for Energy Expenditure. *Exercise, Sport, and Bioanalytical Chemistry*, 33–42. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809206-4.00013-5>
- Harris, J. A., & Benedict, F. G. (1918). A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 4(12), 370–373.
- Haugen, H. A., Chan, L.-N., & Li, F. (2007). Invited Review Indirect Calorimetry: A Practical Guide for Clinicians Determining Energy Expenditure. *Nutrition in Clinical Practice*, (22), 377–388.
- Henry, C. J. K. (2005). Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition*, 8, 1133–1152. <https://doi.org/10.1079/PHN2005801>
- Heymsfield, S. B., Bourgeois, B., & Thomas, D. M. (2017). Assessment of human energy exchange: Historical overview. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(3), 294–300. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.221>
- Jagim, A. R., Camic, C. L., Kisiolek, J., Luedke, J., Erickson, J., Jones, M. T., & Oliver, J. M. (2018). Accuracy of resting metabolic rate prediction equations in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(7), 1875–1881. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002111>
- Janice T, M. M. (1996). Predicted and Measured Resting Metabolic Rate of Male and Female Endurance Athletes.pdf. *J Am Diet Assoc*, 96(1), 34.
- John K. (1988). Energy metabolism an overview. *Infusiontherapie*, 15(4), 148–151.
- Joseph, M., Gupta, R. Das, Prema, L., Inbakumari, M., & Thomas, N. (2017). Are predictive equations for estimating resting energy expenditure accurate in Asian Indian male weightlifters? *Indian Journal of Endocrinology and Metabolism*, 21(4), 515–519. https://doi.org/10.4103/ijem.IJEM_563_16
- Juzwiak, C. R., Winckler, C., Joaquim, D. P., Silva, A., & de Mello, M. T. (2016). Comparison of Measured and Predictive Values of Basal Metabolic Rate in Brazilian Paralympic Track and Field Athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(4), 330–337. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0015>
- K, R. (2018). Body composition techniques. *Indian J Med Res*, 148, 648–658. <https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR>

- Kinney, J. (1992). Indirect Calorimetry: The Search for Clinical Relevance. *Nutrition in Clinical Practice*, 7(5), 203–206. <https://doi.org/10.1177/0115426592007005203>
- Loucks, A. B. (2004). Energy balance and body composition in sports and exercise. *Journal of Sports Sciences*, 22(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/0264041031000140518>
- Loucks, A. B., Kiens, B., & Wright, H. H. (2011). Energy availability in athletes. *Journal of Sports Sciences*, 29(S1), S7–S15. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.588958>
- Mantilla Toloza, S., Gómez-Conesa, A., & Toloza, S, G.-C. A. (2007). Revisión El Cuestionario Internacional de Actividad Física . Un instrumento adecuado en el seguimiento de la actividad física poblacional International Physical Activity Questionnaire . An adequate instrument in population physical activity monitoring. *Rev Iberoam Fisioter Kinesiol*, 8(10), 48–52. Retrieved from <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-iberoamericana-fisioterapia-kinesiologia-176-pdf-13107139>
- Martínez-Sanz, J., Urdampilleta, A., & Mielgo-Ayuso, J. (2013). Necesidades energéticas, hídricas y nutricionales en el deporte. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 30, 37–52.
- Mataix, J. M. J. (2008). Gasto Energético. In *Tratado de nutrición y alimentación* (pp. 909–925).
- Mattsson, S., & Thomas, B. J. (2006). Development of methods for body composition studies. *Physics in Medicine and Biology*, 51(13), 203–228. <https://doi.org/10.1088/0031-9155/51/13/R13>
- McArdle, W., & V, K. F. K. (2002). Body composition. In *Essentials of exercise physiology* (pp. 522–551). <https://doi.org/10.1108/09513550510576125>
- Mielgo-ayuso, J., Maroto-sánchez, B., Luzardo-socorro, R., & Palacios, G. (2015). Valoración del estado nutricional y del gasto energético en deportistas. *Rev Esp Nutr Comunitaria*, 21(1), 225–234. <https://doi.org/10.14642/RENC.2015.21.sup1.5069>
- Mifflin, D., Jeor, T., Daugherty, A., Hill, A., Scott, J., Daugherty, S., & Kho, Y. (1990). A new predictive equation in healthy individuals for resting energy. *American Journal of Clinical Nutrition*, 51(January), 241–247.
- Ministerio de la Protección Social, Departamento Administrativo del Deporte, la Recreación, la A. F. y el A. del T. L.-C. (2011). *Documento técnico con los contenidos de direccionamiento pedagógico para la promoción de hábitos de vida saludable, con énfasis en alimentación saludable y el fomento de ambientes 100%*

libres de humo de cigarrillo a través de la práctica regular de la act.

- Moreira, O. C., Alonso-Aubin, D. A., De Oliveira, C. E. P., Candia-Luján, R., & De Paz, J. A. (2015). Métodos de evaluación de la composición corporal: Una revisión actualizada de descripción, aplicación, ventajas y desventajas. *Archivos de Medicina Del Deporte*, 32(6), 387–394.
- Müller, M. J., Bosy-Westphal, A., Klaus, S., Kreyman, G., Lührmann, P. M., Neuhäuser-Berthold, M., ... Steiniger, J. (2004). World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 80(5), 1379–1390. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.5.1379>
- Murison, S. D., Johnstone, A. M., Rance, K. A., Speakman, J. R., & Duncan, J. S. (2018). Factors influencing variation in basal metabolic rate include fat-free mass, fat mass, age, and circulating thyroxine but not sex, circulating leptin, or triiodothyronine. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 82(5), 941–948. <https://doi.org/10.1093/ajcn/82.5.941>
- Olivos, Cristina; Cuevas, Ada; Alvarez, Veronica; Jorquera, C. (2012). Nutrición Para el Entrenamiento y la Competición. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 23(3), 253–261. [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(12\)70308-5](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(12)70308-5)
- Organización Mundial de la Salud. (2010). *Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud*.
- Owen, E., Owen, S., & Kendrick, V. (1986). A reappraisal of caloric in healthy women13 requirements. *Am J Clin Nutr*, (44), 1–19.
- Patil, B. R., Patkar, D. P., Mandlik, S. A., Kuswarkar, M. M., & Jindal, G. D. (2011). Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 2259 years. *Journal of Medical Engineering and Technology*, 35(2), 109–114. <https://doi.org/10.3109/03091902.2010.543751>
- Pinheiro Volp, A. C., Esteves de Oliveira, F. C., Duarte Moreira Alves, R., Esteves, E. A., & Bressan, J. (2011). Energy expenditure: components and evaluation methods. *Nutricion Hospitalaria*, 26(3), 430–440. <https://doi.org/10.1590/S0212-16112011000300002>
- Rangel Caballero, L. G., Rojas Sánchez, L. Z., & Gamboa Delgado, E. M. (2015). Actividad física y composición corporal en estudiantes universitarios de cultura física, deporte y recreación. *Revista de La Universidad Industrial de Santander. Salud*,

- 47(3), 281–290. <https://doi.org/10.18273/revsal.v47n3-2015004>
- Ravussin, E., Lillioja, S., Anderson, T. E., Christin, L., & Bogardus, C. (1986). Determinants of 24-hour Energy Expenditure in Man. *The Journal of Clinical Investigation, Inc.*, 78, 1568–1578.
- Redondo, R. B. (2015). Resting energy expenditure; assessment methods and applications. *Nutr Hosp*, 31, 245–253. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.sup3.8772>
- Rother, E. T. (2007). Revisión Sistemática X Revisión Narrativa. *Acta Paul Enfem*, 20(2). <https://doi.org/10.1097/00005053-192411000-00111>
- Sarah Staal, Anders Sjödin, Ida Fahrenholtz, Karen Bonnesen, and A. M. (2014). Low RMRratio as a Surrogate Marker for Energy Deficiency, the Choice of Predictive Equation Vital for Correctly Identifying Male and Female Ballet Dancers at Risk. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0327>
- Schofield, K. L., Thorpe, H., & Sims, S. T. (2019). Resting metabolic rate prediction equations and the validity to assess energy deficiency in the athlete population. *Experimental Physiology*, 104(4), 469–475. <https://doi.org/10.1113/EP087512>
- Taylor, N. A. S., Shephard, R. J., & Lindinger, M. I. (2018). Foundational insights into the estimation of whole-body metabolic rate. *European Journal of Applied Physiology*, 118(5), 867–874. <https://doi.org/10.1007/s00421-018-3828-9>
- Ten Haaf, T., & Weijs, P. J. M. (2014). Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: Confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PLoS ONE*, 9(10), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108460>
- Webb, P. (1981). Energy expenditure and fat-free mass in men and women, 34, 1816–1826.
- Wilmore, Jack; Costill, D. (2007). Programación de ejercicios para la salud y las forma física. In *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (pp. 663–667).
- Wong, J. E., Poh, B. K., Nik Shanita, S., Izham, M. M., Chan, K. Q., Tai, M. De, ... Ismail, M. N. (2012). Predicting basal metabolic rates in Malaysian adult elite athletes. *Singapore Medical Journal*, 53(11), 744–749. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23192502>
- World Health Organization. (2018). Global Physical Activity Questionnaire Analysis Guide, 23. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60736-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60736-3).The
- World Health Organization (WHO). (1988). Obesity: preventing and managing the global

epidemic. Geneva: World Health Organization. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11234459>

Zarate, M; Lancheros, L; Barrera, P. (2011). Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos. *Rev Fac Med*, 59(1), 43–58.