

Métodos de composición corporal pediátrica para evaluación nutricional y metabólica, una revisión narrativa

Methods of body composition for nutritional and metabolic assessment in children, a narrative review.

Yolanda Contreras Vargas, Kennya Sofía Novoa Hernández, Sheyla Livier Ayala Rioja, Ileana Ruíz Cruz, Bryan Víctor Phillips Farfán, Luz Del Carmen Camacho Castillo, Azucena Soto Carvajal, Karla Guadalupe Carvajal Aguilera

Resumen

INTRODUCCIÓN: Existe una creciente necesidad de herramientas adecuadas para evaluar la composición corporal (CC) en la población pediátrica que puedan ser utilizadas en diferentes condiciones como sobrepeso, obesidad y para una variedad de enfermedades crónicas como el cáncer, enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedad renal, etc. El estudio de la CC explora la relación entre las masas grasa (MG), muscular, ósea, estado de hidratación y alteraciones nutricionales. Es útil para diagnosticar el estado nutricional y cuantificar la MG en adultos. Indica la presencia de alteraciones y enfermedades crónico-metabólicas. Sin embargo, faltan estudios de validación en la población pediátrica.

OBJETIVO: Se realizó una búsqueda bibliográfica simple de artículos publicados en las bases de datos: PubMed y SciELO, de 1984 a 2024. Se incluyeron métodos clásicos de antropometría, disección de cadáveres, bioimpedancia y tecnologías de imagen. La búsqueda utilizó palabras clave específicas: *DEXA, BIA, ADP, body composition y pediatric population*. Se privilegiaron revisiones sistemáticas con metaanálisis, estudios originales en población pediátrica y su aplicación clínica. El método con mejor desempeño fue DEXA. Pero su alto costo y complejidad de manejo restringen su uso. La BIA, índices antropométricos, sumatoria de pliegues y percentiles son alternativas adecuadas.

RELEVANCIA: Debido a que el IMC no puede discriminar MG en población pediátrica, el estudio de la CC mediante métodos precisos es importante por la creciente prevalencia de obesidad y la aparición temprana de alteraciones metabólicas.

PALABRAS CLAVE: Composición corporal, estado nutricional, población pediátrica, enfermedades metabólicas.

ABSTRACT

INTRODUCTION: There is a growing need for proper tools to evaluate body composition (BC) in the pediatric population. Ideally, these tools should be useful for overweight or obese children and relevant for a variety of chronic illnesses such as cancer, inflammatory bowel disease, renal disorders, etc. BC analysis explores the relationship between fat mass (FM), muscle, bone, hydration and nutritional problems. They are useful for diagnosing the nutritional status and quantifying FM in adults. They indicate the presence of alterations and chronic metabolic diseases. However, there is a lack of validation studies in the pediatric population.

OBJECTIVE: A simple bibliographic search of articles published in the data bases: PubMed and SciELO from 1984 to 2024 was conducted. Classic methods (anthropometric measurements, cadaver dissection), bioimpedance and imaging technologies were inclu-

Laboratorio de Nutrición Experimental,
Instituto Nacional de Pediatría. Ciudad
de México.

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-7514-8590>
<https://orcid.org/0000-0001-6470-6860>
<https://orcid.org/0000-0002-9864-3738>
<https://orcid.org/0000-0002-4318-5952>
<https://orcid.org/0000-0002-5522-3266>

Recibido: 8 de agosto 2025

Aceptado: 13 de julio 2026

Correspondencia

Karla Guadalupe Carvajal
karla_ca@yahoo.com

Este artículo debe citarse como: Contreras-Vargas Y, Novoa-Hernández KS, Ayala-Rioja SL, Ruíz-Cruz I, Phillips-Farfán BV, Camacho-Castillo LC, Soto-Carvajal A, Carvajal-Aguilera KG. Métodos de composición corporal pediátrica para evaluación nutricional y metabólica, una revisión narrativa. Acta Pediatr Mex 2026; 47: e3201.

ded. The search used specific words: DEXA, BIA, ADP, body composition and pediatric population. Systematic reviews including metanalysis and original studies in pediatric ages with clinical application were privileged. The method with the best performance was DEXA. However, its high cost and complexity of use limit its application. BIA, anthropometric indices, skinfolds sums and percentiles are appropriate alternatives.

RELEVANCE: Since BMI is not able to discriminate FM, the use of precise methods to assess BC in the pediatric population is important due to the increasing prevalence of obesity and the early appearance of metabolic alterations.

KEYWORDS: Body composition, pediatric population, nutritional status, metabolic diseases.

INTRODUCCIÓN

La composición corporal (CC) se define como la relación entre la masa ósea, la masa muscular, la masa blanda, el agua y la masa total de un individuo. Estudiar la CC nos permite cuantificar las reservas energéticas del organismo y detectar problemas nutricionales como el sobrepeso, la obesidad y la desnutrición¹. La MG (tejido adiposo subcutáneo y abdominal) actúa como reserva de energía y aislante térmico, mientras que la masa magra está compuesta principalmente por minerales, proteínas, glucógeno y agua².

El análisis de la CC es un aspecto importante en la valoración del estado nutricional de niños y adolescentes. Recientemente ha cobrado relevancia debido a la creciente prevalencia de la obesidad en estas etapas de la vida, así como el impacto en enfermedades crónicas como cáncer, enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedades renales, etc. Resulta complejo evaluar la CC en esta población, ya que se observan cambios en el crecimiento y el desarrollo. Por tanto, es necesario contar con instrumentos confiables y metodologías válidas para estimar la CC en niños y adolescentes³.

Conocer e identificar los principales métodos para estimar CC resulta útil para la valoración del estado nutricional y de su relación con las alteraciones metabólicas en la población pediátrica. El análisis preciso de la CC permitirá avanzar en la investigación básica y clínica, así como en el diagnóstico temprano para prevenir y tratar oportunamente las enfermedades crónicas en la adultez.

Los métodos de evaluación de CC se pueden clasificar en tres grupos: directos, como la disección de cadáveres; indirectos, como la absorciometría dual de rayos X (DEXA), densitometría hidrostática y pletismografía por desplazamiento de aire (ADP); y doblemente indirectos, como la bioimpedancia eléctrica (BIA), la antropometría y los índices de adiposidad⁴.

Este trabajo pretende realizar una revisión narrativa sobre la utilidad de los métodos de estimación de la CC y una descripción comparativa entre ellos. Asimismo, destacar la importancia y la fiabilidad de estos métodos. Esto, para determinar el método que brinda la mayor precisión en la estimación del porcentaje de grasa corporal (PGC) en la población pediátrica y su

asociación con alteraciones metabólicas. Se realizó una búsqueda bibliográfica simple de artículos publicados en las bases de datos: Pub-Med y SciELO, de 1984 a 2024. Se incluyeron desde los métodos clásicos de antropometría y disección de cadáveres hasta las tecnologías de imagen y bioimpedancia más recientes. La búsqueda se realizó mediante palabras clave específicas: *DEXA*, *BIA*, *ADP*, *body composition* y *pediatric population*. Para fortalecer el sustento científico del trabajo, se aplicó una jerarquía de la evidencia. Se privilegiaron las revisiones sistemáticas con meta-análisis y los estudios originales centrados estrictamente en la edad pediátrica y en su aplicación en la práctica clínica. Es importante incorporar parámetros de CC considerando las ventajas y limitaciones en las investigaciones clínicas, ya que son vitales para avanzar en la prevención y tratamiento de padecimientos nutricionales y metabólicos, de acuerdo con las capacidades de cada institución o grupo de investigación.

1. PRINCIPALES MÉTODOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR CC Y ESTADO NUTRICIO EN EDAD PEDIÁTRICA

El estado nutricio nos permite conocer el equilibrio que existe entre las necesidades nutricionales, el gasto energético y los factores biopsicosociales que influyen en dicho estado⁵. Los puntos básicos de interés se centran en la valoración del estado nutricio, evaluando los cambios de CC mediante parámetros obtenidos con métodos como la BIA, ADP, DEXA o índices calculados a partir de medidas antropométricas. Cada uno de estos métodos tiene ventajas y limitaciones importantes. Éstos deben considerarse al interpretar los resultados y aplicarlos en diagnósticos clínicos o en la toma de decisiones relativas a la salud, la educación y las políticas públicas.

La antropometría nos brinda parámetros corporales que pueden ser utilizados para la evaluación

del estado nutricio a través de la construcción de índices, obtenidos mediante fórmulas y algoritmos matemáticos, como los percentiles o puntuaciones Z, que permiten la comparación con poblaciones de referencia⁶, algunos de ellos se describen en el **cuadro 1**.

1.2 Importancia de la valoración de la CC durante la etapa pediátrica

El análisis de la CC constituye una parte fundamental de la valoración nutricional en la infancia y la adolescencia. Ayuda a comprender los efectos de la alimentación, ejercicio y crecimiento, entre otros factores, sobre la salud del organismo⁷. Al cuantificar indirectamente los depósitos de grasa y proteína de un infante, se pueden identificar situaciones como el exceso de grasa corporal (sobrepeso u obesidad). Dado que esta es la principal forma de almacenamiento de energía, una alteración en este tejido proporciona una estimación indirecta de un desequilibrio energético. Por otro lado, una disminución del tejido muscular, principal componente de la masa libre de grasa (MLG), es relevante para estimar las reservas proteicas. Cuando éstas están disminuidas, pueden indicar una desnutrición calórico-proteica⁸.

La estimación de la CC es relevante en una amplia variedad de condiciones y enfermedades. La enfermedad inflamatoria intestinal crónica, la enfermedad renal crónica y la fibrosis quística se han asociado con una CC alterada⁹. Un estudio sobre la farmacocinética de algunos medicamentos en niños mostró que el PGC afectaba el mecanismo de acción de dichos fármacos¹⁰. Una investigación reciente en niños de 5 años mostró patrones de microbiota intestinal asociados a la CC y a la dieta, en la que los niños con disbiosis presentaban mayor adiposidad¹¹. Por ello, es importante contar con herramientas y métodos que nos permitan realizar una valoración confiable de la CC en la población pediátrica.

Cuadro1. Principales índices para evaluar el estado nutricional

Índice	¿Cómo se obtiene?	¿Qué detecta?	Ref.
Talla/Edad	Estatura esperada para niños de la misma edad según los valores de referencia.	Desnutrición crónica Alteraciones en el crecimiento lineal	6
Peso/Edad	Peso esperado para niños de la misma edad según los valores de referencia.	Bajo peso, bajo peso severo, sobrepeso y obesidad	6
Peso/Talla	Estatura comparada con la esperada para niños de la misma edad según los valores de referencia.	Desnutrición aguda o emaciación, bajo peso, sobrepeso, obesidad.	6
IMC/Edad	Niños del mismo sexo y edad en la población de referencia utilizada para crear las tablas de crecimiento de la CDC.	Desnutrición, bajo peso, sobrepeso, obesidad.	6
Índice Cintura/estatura	Relación entre la circunferencia de cintura de niños y niñas y su estatura.	Riesgo cardiovascular para la detección temprana de obesidad en niños y niñas.	6

2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA CC

El cuerpo humano está formado por diferentes componentes, entre los que destacan los niveles: atómico, molecular, celular, tejidos, sistemas y el global¹². Al estudiar la CC, se identifican hasta 5 compartimentos, según la densidad de sus componentes: MG, MLG, masa ósea, agua intracelular y agua extracelular. Sin embargo, es difícil obtener estos cinco compartimentos con métodos convencionales, por lo que, en la práctica, solo se pueden obtener hasta tres. Actualmente, uno de los modelos más utilizados es el de dos compartimentos, el cual considera la MG y la MLG¹³.

2.1 Métodos directos

Estos métodos se centran en la disección de cadáveres, de donde se toman las medidas antropométricas, y posteriormente, en la disección de tejidos (piel, tejido subcutáneo, músculos, huesos y vísceras), se determina el peso de cada uno y se calcula su densidad individual¹⁴. Sin embargo, no hay evidencia de que se utilice este método de manera rutinaria¹⁵.

2.2 Métodos indirectos

Los métodos indirectos analizan los tejidos de interés mediante equipos electromecánicos que

miden la CC *in vivo*. Se basan en las propiedades físicas de los tejidos y en su interacción con componentes externos, como la absorciometría dual de rayos X y el desplazamiento de agua o de aire³.

2.2.1 Densitometría hidroestática

El pesaje bajo el agua se basa en el principio de Arquímedes para calcular el volumen del sujeto y, a partir de ello, determinar la densidad corporal. Con esto se estima el PGC, teniendo en cuenta que a mayor cantidad de MG, menor será la densidad. Se puede utilizar este método para determinar dos compartimentos, MG y MLG. El tejido magro (como los huesos y los músculos) es más denso, mientras que el tejido graso es menos denso que el agua¹⁶.

Este método tiene un margen de error del 3 al 4 % en población sana; su precisión es aceptable. Sin embargo, para utilizar este método se requiere equipamiento e instalaciones complejas. Debido a sus requerimientos, no resulta práctico para evaluar la densidad corporal en ciertas personas, pues requiere la colaboración del sujeto. Esto limita su aplicación en niños o en individuos con alguna afección psicológica (ansiedad) o física (deterioro de la movilidad). La densidad mineral ósea y la variación intrínseca del agua corporal son factores que también comprometen la validez de la MG y

la MLG estimadas por este método¹⁶. La dificultad que presentan los niños para mantener la respiración bajo el agua ha llevado a los investigadores a desarrollar el uso de ADP².

2.2.2 Pletismografía por desplazamiento de aire

La pletismografía por desplazamiento de aire (ADP, por sus siglas en inglés) determina la densidad corporal utilizando el mismo principio que la densitometría hidrostática: medir la masa y el volumen. Utiliza una cabina ovalada y un dispositivo computarizado. La cabina está compuesta por una doble cápsula de fibra de vidrio que integra dos cámaras: a) Cámara frontal o de prueba; b) Cámara trasera o de referencia (con volumen fijo), separadas por un diafragma para registrar la presión de aire¹⁷.

Usando la ley de Boyle, se calcula el volumen a partir de los cambios de presión del aire generado por la persona en la cámara frontal. Este valor es proporcional al volumen corporal, lo que permite estimar la cantidad de MG y MLG mediante el modelo de dos compartimentos. Es útil en cualquier edad, incluyendo a niñas y niños, y toma 5-15 minutos¹⁷. Tiene como desventajas su alto costo, el personal y el mantenimiento especializados (hardware y software específicos) y un ambiente a temperatura controlada¹⁸.

2.2.3 Absorciometría dual de rayos X

La absorciometría dual de rayos X (DEXA, por sus siglas en inglés) se basa en la diferente atenuación que sufren los fotones emitidos por una fuente determinada de rayos X en función de la composición específica del tejido que atraviesan¹⁹. Cuando los fotones atraviesan los tejidos del sujeto, son absorbidos o dispersados por el efecto fotoeléctrico. La longitud de onda o la frecuencia de la radiación dependerá de la dirección de dispersión. En general, el efecto de atenuación de los fotones disminuye al aumentar la energía del fotón⁸.

Este método permite estimar la CC mediante el modelo de tres compartimentos. A diferencia del resto de los estimadores de CC, se obtienen parámetros de masa mineral ósea y de masa de tejido blando no óseo. El componente graso de los tejidos blandos se estima a partir de la variación del cociente de atenuación de los tejidos blandos entre los niveles de energía más bajos y los más altos¹⁹. Es el estándar de oro para estimar la CC, MG, MLG y el contenido mineral óseo, tanto en estudios clínicos como en la investigación.

Sus principales ventajas son: ser una técnica no invasiva, con radiación mínima y de breve duración. Como desventajas, requiere equipamiento radiológico especializado y de alto costo, por lo que resulta difícilmente factible como instrumento para la práctica clínica habitual en la valoración de la CC. Cabe destacar que la grasa visceral y troncal medida por DEXA es un mejor predictor de alteraciones metabólicas, como la resistencia a la insulina (RI), las dislipidemias y la inflamación, en adolescentes obesos. Esto, en comparación con la medición antropométrica más utilizada en pediatría: la circunferencia de cintura¹⁹.

2.2.4 Tomografía axial computarizada (TAC)

La TAC se basa en el uso de un escáner de emisión de rayos X, en el que la intensidad de salida de los rayos X es monitorizada por un equipo que codifica la señal para generar una imagen visual. Una vez que ésta se genera, se utilizan algoritmos computacionales para calcular el coeficiente de atenuación media de la longitud del haz de rayos X, el cual es proporcional a la densidad de cada tejido. La TAC es considerada el método más preciso para medir la cantidad y distribución del músculo y del tejido adiposo en el cuerpo, aunque su aplicación en niños es limitada debido a la radiación ionizante que emite²⁰. En el **Cuadro 2** se resumen las ventajas y desventajas de los métodos más utilizados para estimar la CC.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de los métodos de análisis BIA, ADP y DEXA para la evaluación del porcentaje de grasa corporal

Métodos	Ventajas	Desventajas	Ref.
Pletismografía por desplazamiento de aire (ADP) Cápsula dual de fibra de vidrio. Lo integran dos cámaras: a) La frontal o de prueba. b) La posterior o de referencia. 2 compartimentos.	Método seguro. No invasivo. Uso práctico en escolares y lactantes. Determina la densidad corporal. Duración máxima de 15 minutos.	Técnica de alto costo. Menor precisión en niños muy delgados u obesos. Requiere un operador capacitado. Los factores de corrección para la masa y masa libre de grasa, no son válidos para otros grupos étnicos. Diferentes software por dispositivo.	17, 20
Bioimpedancia eléctrica (BIA) Lo integran una báscula y varios electrodos con flujos de corriente que atraviesan de forma diferencial los líquidos extracelulares e intracelulares. 2 o 3 compartimentos.	Método seguro. No invasivo. Observar las fluctuaciones de los fluidos corporales. Estado de hidratación. Duración de 30 segundos a 2 minutos. No requiere de personal capacitado. Equipo portátil.	Las variaciones en la longitud de las extremidades y del tronco pueden influir en la relación entre el agua corporal total y la masa libre de grasa. Se requiere un modelo matemático. Se sugiere ajustar por edad y sexo.	16, 21, 22
Absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA) Técnica “Estándar de oro” para medida de masa muscular Dispositivo central Mesa lisa “Brazo” suspendido sobre la cabeza. 3 compartimentos.	Método seguro. No invasivo. Única técnica disponible para medir el contenido y la densidad ósea. Duración de 3-20 minutos.	Técnica de alto costo. Medición afectada por la hidratación y los movimientos durante el estudio. Requiere un operador capacitado Software específico Radiación ionizante	19, 23, 24
Tomografía axial computarizada (TAC) Lo integran una computadora conectada a una máquina de rayos X, a fin de generar una serie de imágenes detalladas que se utilizan para obtener vistas tridimensionales (3D) de los tejidos y órganos.	Método seguro. No invasivo. Duración de 10-30 minutos.	Técnica de alto costo. Menor detalle en tejido blando. Requiere un operador capacitado Software específico Radiación ionizante	6, 20

2.3 Métodos doblemente indirectos

Los métodos doblemente indirectos son aquellos que se basan en fórmulas matemáticas que incorporan la relación entre las medidas antropométricas, el género y la edad. Estas ecuaciones se derivan, a su vez, de parámetros obtenidos mediante métodos indirectos y ajustados matemáticamente. Se discuten aquí BIA e índices estimadores de adiposidad²⁶.

2.3.1 Bioimpedancia eléctrica (BIA)

La BIA es un método de análisis seguro, no invasivo, de bajo costo y portátil. Permite cuantificar la MG y la MLG mediante el modelo de dos compartimentos. En poco tiempo proporciona resultados fiables para evaluar el estado de hidratación y nutricio en sujetos sanos o enfermos, mediante la comparación con datos de referencia²⁷. Se emplean corrientes eléctricas muy bajas,

casi imperceptibles para el sujeto, que atraviesan los fluidos extracelulares e intracelulares de distintas maneras, lo que permite estimar la CC mediante algoritmos matemáticos.

A pesar de que el análisis con BIA genera un modelo de dos compartimentos, existen configuraciones que, al colocar electrodos en los miembros superiores e inferiores del cuerpo, permiten obtener la distribución de MG y MLG (*Inbody* o básculas determinadoras de CC). No obstante, la BIA tiene un ligero margen de error, ya que las variaciones en la longitud de las extremidades y del tronco pueden influir en la relación entre el agua corporal total²⁷.

En conclusión, a pesar de las ventajas de la BIA, resulta menos precisa que DEXA y ADP ya que el BID tiende a subestimar la MG y MLG, a diferencia de DEXA, que muestra correlaciones altas en dichas mediciones. Un factor determinante es que las ecuaciones de predicción se basan en modelos específicos para cada población y proporcionan estimaciones aceptables, por lo que solo son válidas para individuos cuyas características físicas sean similares a las del grupo poblacional de referencia²⁷.

2.3.2 Índices estimadores de adiposidad

Los índices estimadores de adiposidad son medidas que se emplean para evaluar la cantidad de grasa corporal de una persona y su distribución. Se calculan con ecuaciones que incluyen los parámetros obtenidos por alguno de los métodos indirectos, como la BIA, y son ajustados matemáticamente con medidas antropométricas²⁸.

La medición de los pliegues cutáneos es una técnica utilizada para estimar la cantidad de grasa subcutánea, por ende, la grasa corporal total. Implica medir el grosor de pliegues específicos de la piel en diferentes partes del cuerpo con un calibrador especializado, conocido como plicómetro. Los pliegues más comúnmente

medidos son: tricipital, bicipital, subescapular, suprailíaco, abdominal, muslo anterior y pantorrilla medial.

Para estimar el PGC, el uso de los pliegues cutáneos suele ser superior al de otros indicadores indirectos (como estatura, peso o índice cintura-cadera). Esto se debe a que permiten una aproximación más cercana a la densidad real del tejido adiposo del individuo²⁹. La exactitud en la estimación de la CC utilizando este método depende del tipo de instrumento utilizado, su calibración, la técnica, la precisión y el entrenamiento del evaluador para la correcta identificación de los puntos anatómicos que deben ser medidos²⁹. Tomando en cuenta estos factores y considerando que las ecuaciones tienen un margen de error considerable respecto de su estándar de oro, pueden presentar baja fiabilidad y alta variabilidad. Se recomienda utilizarlos para estudios que comparen grupos dentro de las mismas poblaciones^{6,20,30}. A pesar de sus limitaciones, estos métodos son de gran ayuda por las ventajas que presentan: bajo costo y facilidad de aplicación, además de que han sido validados para su uso en una amplia franja poblacional, desde niños hasta adultos mayores, incluyendo personas enfermas y atletas²³. Los principales índices de adiposidad indirectos se resumen en el **Cuadro 3**.

3. UTILIDAD DE LOS MÉTODOS PARA ESTIMAR CC

3.1. DEXA

La DEXA se considera el estándar de oro para estimar la CC. Permite realizar mediciones de segmentos corporales en serie y presenta elevada precisión y confiabilidad, así como baja variabilidad en comparación con métodos de referencia como la BIA y el ADP¹³.

La eficacia de este método quedó demostrada en el estudio de Rodrigues de Faria y colaboradores,

Cuadro 3. Índices estimadores de adiposidad

Nombre del índice	Descripción	Ventajas	Desventajas	Fórmulas	Ref.
Fórmula de Sarria et al	Masa grasa corporal en niños y adolescentes de sexo masculino	Utilización de pliegues cutáneos y peso corporal	Únicamente se utiliza en hombres, no muestra puntos de corte en porcentaje de masa grasa.	Sarria et al validadas en niños españoles: De 7.0-10.9 años $Densidad = 1,1417 - 0,0633 \log \sum 4 \text{ pliegues}$ De 11.0-13.9 años $Densidad = 1,1516 - 0,0658 \log \sum 4 \text{ pliegues}$ De 14.0-16.9 años $Densidad = 1,1690 - 0,0693 \log \sum 4 \text{ pliegues}$ Weststrate y Deurenberg tiene en cuenta el cambio de la densidad de la masa magra con la edad: $Masa\ grasa\ (\%) = [562 - 4,2 (edad - 2)] / d - [525 - 4,7 (edad - 2)]$	31
Ecuación de Gómez-Campos et al	Fórmula que toma en cuenta la edad, circunferencia del brazo y circunferencia de cintura para estimar el porcentaje de grasa.	Utilización de medidas antropométricas y pliegues cutáneos. Puede ser utilizada para cuantificar las reservas de energía en el organismo.	Sobreestima el porcentaje de grasa corporal, en niños y adolescentes. Requiere entrenamiento especial para la medición de los pliegues y circunferencias	1. Ecuación de Lohman , específica para niños y adolescentes $\% GC = [(5,30/D) - 4,89] * 100$ 2. Ecuación de Slaughter Masculino: $\% BF = 1,21 [\text{triceps (mm)} + \text{subescapular (mm)}] - 0,008 [\text{triceps (mm)} + \text{subescapular (mm)}] - 0,013$ Femenino: $\% BF = 1,33 [\text{triceps (mm)} + \text{subescapular (mm)}] - 0,013$ 3. Ecuación de Gómez-Campos et al Niños $1\ \%G = -19,13 + (0,19 * E) + (1,21 * CB) + (0,31 * CC)$ Niñas $3\ \%G = -16,57 - (0,00281 * E) + (1,26 * CB) + (0,336 * CC)$ CB (Circunferencia del brazo) CC (Circunferencia de cintura) E (Edad)	32
Índice de Masa Grasa Relativo Pediátrico (RFMp)	Ecuación que utiliza la estatura, circunferencia de cintura y sexo para estimar el porcentaje de grasa corporal	Es sencilla, fácil de utilizar, no requiere entrenamiento especial para tomar las mediciones antropométricas	Es una ecuación larga	RFMp 8-14 años: $74 - (2,2 * (\text{estatura} / \text{circunferencia de cintura (m)} + (5 * \text{sexo})))$ El sexo tiene un valor de para los niños y de para las niñas RFM 15-19 años: $64 - (20 * (\text{estatura} / \text{circunferencia de cintura (m)} + (12 * \text{sexo})))$	33
Índice de Masa Tripodenral (TMI)	Ecuación que utiliza la peso estatura y corporal elevada al cubo para estimar el porcentaje de grasa	No requiere entrenamiento especial para tomar las medidas antropométricas, es sencillo sustituirla	Solo para niños de 6 a 9 años. No toma en cuenta la obesidad central	TMI (kg/m^3) = (peso en kg) / (estatura en metros ³)	34
Curvas de referencia de grasa corporal para niños turcos y adolescentes sanos	Define nuevos percentiles de grasa corporal específicos por edad y género	Son fáciles de consultar cuando se tienen los porcentajes de grasa y la edad del niño, niña o adolescente	Está hecho en una sola población y la validación de las curvas fue hecha con bioimpedancia	Curvas de porcentaje de grasa referidas en el artículo original	35

en el que se compararon dos dispositivos de bioimpedancia —BIA1 (tetrapolar horizontal) y BIA2 (vertical de 8 electrodos)— frente a DEXA. La muestra incluyó a 500 adolescentes de entre 10 y 19 años, estratificados por sexo y divididos en grupos con y sin sobrepeso. Al evaluar el Índice de Masa Corporal (IMC) para la edad, se determinó que el 19.4% presentaba sobrepeso. Sin embargo, al analizar el PGC mediante DEXA, la prevalencia aumentó hasta el 47.4%. Por otro lado, el dispositivo BIA2 mostró una correlación significativa con los valores predictivos de DEXA. Dentro del grupo con sobrepeso, únicamente el método BIA2 registró un margen de error aceptable, con un valor igual o inferior al 2.5%. Asimismo, los errores estándar de la estimación de la regresión lineal para el PGC entre DEXA y BIA se mantuvieron por debajo del 3.5% en todos los grupos, con los valores más bajos en BIA2. En conclusión, ambos dispositivos subestimaron el PGC en adolescentes con sobrepeso y lo sobre estimaron en los varones de peso normal. BIA2 demostró mayor precisión y concordancia con el estándar de referencia (DEXA). No obstante, debido a estas variaciones, los resultados de la bioimpedancia en esta población deben interpretarse con cautela³⁶.

Murray y colaboradores valoraron la mejoría nutricional con base en la CC y compararon la utilidad de BIA vs. DEXA en 33 niñas de entre 11 y 16 años diagnosticadas con anorexia nerviosa. Se realizaron dos mediciones (basal y al final del estudio) mediante DEXA y BIA. Las variables obtenidas por BIA fueron: resistencia, reactancia, ángulo de fase (PhA, por sus siglas en inglés), vector de análisis de bioimpedancia, agua corporal total, extracelular e intracelular y sus respectivos percentiles, MLG, masa extracelular, MG, masa celular e índice de masa celular. Para la DEXA, las variables fueron: densidad mineral ósea de columna y de cuerpo entero, MG, MLG y PGC. Se observó una correlación positiva entre el PhA obtenido mediante BIA y el MLG medida mediante DEXA al diagnóstico

($r=0.438$; $p=0.037$), así como con la puntuación Z de densidad mineral ósea del cuerpo entero al final del periodo de estudio ($r=0.738$; $p=0.015$)³⁷. Es importante mencionar que la BIA presenta limitaciones significativas debido a cambios en la hidratación de los pacientes. En este caso, las pacientes tienden a beber grandes cantidades de agua para lograr un efecto saciante, mientras que otras, por el contrario, beben muy poca para no aumentar de peso. Por ello, DEXA sigue siendo imprescindible en la valoración nutricional de este tipo de pacientes⁸. En conclusión, a pesar de las diferencias entre las poblaciones en las que se realizaron estos estudios, DEXA ha demostrado ser de gran utilidad, independientemente de las características de cada individuo. Esto hace que DEXA siga siendo el método de elección para determinar CC, ya que además arroja datos de composición mineral por separado, sin embargo, es un método más costoso y especializado, y aunque mínima, hay una exposición a radiación.

BIP tiene la ventaja de ser portátil, rápida, económica y reproducible, sin radiación ionizante, mientras que tiene la desventaja de que depende de la ecuación predictiva del dispositivo, que puede no estar validado en todas las edades o etnias y además está influenciado por la hidratación, ejercicio reciente y temperatura, además de tener menos precisión en mediciones regionales en niños muy delgados u obesos.

3.2 ADP

El ADP ha sido validado frente al modelo de CC de cuatro compartimentos (MG, MLG, masa ósea, masa residual) en pequeñas muestras de niños con peso normal. Diversos estudios resaltan la utilidad de dicho método para evaluar el PGC, ya que no es invasivo, no genera radiación en los niños y puede proporcionar información equivalente a la del DEXA³⁸.

El ADP, como referencia, ha dado lugar a nuevas ecuaciones para predecir la MG en lactantes y

niños pequeños nacidos a término, ya que existe poca concordancia entre las estimaciones de MG obtenidas por espesor de los pliegues cutáneos y por ADP³⁹.

Un estudio de Chen y colaboradores comparó ADP con la BIA multifrecuencia en preescolares chinos. Mostró que la BIA subestimó la MG y sobreestimó la MLG en niños con peso normal ($p < 0.05$), pero se observó la tendencia opuesta en niños con obesidad ($p < 0.05$). La concordancia entre las medidas de MG y MLG en ambos métodos fue alta ($CCC > 0.80$). Concluyen que la BIA es un instrumento válido para evaluar la CC en niños preescolares chinos, en comparación con la ADP, especialmente en niños de 5 años con obesidad. Se encontraron diferencias significativas entre niños y niñas en cuanto a altura y peso para MLG medida por BIA o ADP, por lo tanto, la impedancia bioeléctrica multifrecuencia podría proporcionar una alternativa portátil al ADP en entornos clínicos y de investigación para la evaluación de la CC en niños mayores o con un IMC más de 39.

Un estudio realizado en Edimburgo, Reino Unido, evaluó el funcionamiento del método y la experiencia del usuario con ADP. La información se obtuvo de siete estudios diferentes, en los que se incluyeron niños sanos y con alguna enfermedad. Se llegó a la conclusión de que uno de los dispositivos de ADP utilizados (BOD POD) presenta varias limitaciones y altas tasas de fracaso técnico asociadas al operador, en especial en niños pequeños, en quienes subestima la CC⁴⁰.

3.3 BIA

Además del BIA, existe el análisis del vector de impedancia bioeléctrica (BIVA). Este también considera la reactancia además de la bioimpedancia. Esto permite conocer el estado de hidratación del individuo. Un estudio realizado por Mateo y colaboradores, comparó la CC analizada mediante BIA y BIVA en niños y ado-

lescentes con sobrepeso y obesidad. Este último método detectó diferencias en los patrones eléctricos de niños clasificados con obesidad o sobrepeso, que la BIA simple no detectó⁴¹.

Larsen y colaboradores analizaron la validez y la confiabilidad para estimar la CC entre DEXA y BIA. Se estimó la CC de cuerpo entero mediante un InBody 270 y DEXA en 127 participantes de 10 años: 70 niños y 57 niñas. Se consideraron la grasa corporal total y la masa corporal magra. Un hallazgo principal de este estudio fue que las asociaciones entre BIA y DEXA en ambos sexos fueron casi perfectas. De manera general, los autores concluyen que BIA tiene la misma fiabilidad y validez que el DEXA, al momento de evaluar la CC en niños de esta edad⁴².

Otro estudio de Kettaneh y colaboradores evaluó la reproducibilidad y la correlación al estimar PGC mediante BIA, en comparación con medidas antropométricas de adiposidad, en 64 niños de 5º grado. Se les realizaron mediciones de PGC a intervalos de 1 a 2 semanas mediante antropometría y BIA. Se encontró que, al realizar la medición con BIA-TANITA (TBF 310), la reproducibilidad fue baja, aunque mejoró con la capacitación de los operadores. El estudio de correlación confirma que el PGC medido por BIA está relacionado con la adiposidad “verdadera”, evaluada mediante el método matemático de la “tríada”, lo que arroja resultados similares a los de las mediciones antropométricas⁴³.

En otro estudio, el grupo de trabajo de Thajer comparó el uso de BIA para obtener la CC en jóvenes con obesidad. Se recopilieron datos de tres estudios independientes que midieron la CC con dos equipos: TANITA y BIACORPUS. La TANITA es una báscula con análisis de bioimpedancia simple. El BIACORPUS, un medidor digital de 4 canales, permite medir automáticamente la impedancia corporal total. Se analizaron 123 pacientes de entre 6 a 18 años con un IMC entre 21 y 59 kg/m². Los resultados mostraron

que las estimaciones de la CC con TANITA y BIOCORPUS difieren significativamente, pues TANITA sobreestima el PGC y subestima la MLG, a diferencia de BIOCORPUS⁴⁴. Por ello se recomienda utilizar solo un analizador por paciente, pues utilizarlos de manera intercalada daría resultados muy diferentes⁴⁵.

La BIA tiene la ventaja de ser un equipo portátil, rápido y económico, con alta reproducibilidad y no expone al individuo a radiación. Sin embargo, depende de las ecuaciones predictivas con las que el equipo ha sido cargado, las cuales pueden no estar validadas para la población específica de interés.

4. UTILIDAD DEL ANÁLISIS DE CC EN PATOLOGÍAS Y ALTERACIONES METABÓLICAS

4.1 DEXA

El DEXA permite cuantificar las reservas corporales del organismo, detectar problemas nutricionales y evaluar las asociaciones entre la CC y las alteraciones metabólicas. Un ejemplo claro es el estudio realizado por Kim y colaboradores, en 103 niños y adolescentes coreanos. La mayoría (52%) fue catalogada con obesidad (IMC por encima del percentil 95) y el 48% con IMC entre los percentiles 15 y 85, considerados como peso saludable. El estudio demostró una asociación entre los niveles de irisina y los parámetros de glucosa, lípidos y densidad ósea, lo que sugiere que la irisina podría desempeñar un papel en los trastornos metabólicos y en la salud ósea en niños y adolescentes con obesidad⁴⁶.

Otro estudio por el grupo de trabajo de Chen, examina la precisión y validez de dos dispositivos BIA portátiles y DEXA. Evaluaron la asociación entre el PGC y la presión arterial (PA) y determinaron el riesgo de presión arterial elevada (PAE). Reclutaron a 1426 participantes de 7 a 17 años en Beijing y destacaron que las

diferencias en el estilo de vida (hábitos alimentarios, actividades al aire libre, etc.) y el género fueron determinantes en la asociación entre el PGC y la PA. Algunas medidas utilizadas fueron la altura, el peso, la circunferencia de la cintura, la PA y la CC. Esta última medida por DEXA y BIA. Los resultados arrojaron que los niños mostraron una tendencia a tener menor MG (14.45 ± 8.63) frente a las niñas (15.85 ± 7.85), encontrando tendencias similares entre los dos dispositivos BIA y DEXA. Además, encontraron asociaciones significativas entre la PA y un PGC elevado. En particular, se observaron riesgos significativamente mayores con un alto PGC en el cuartil más alto de la PA sistólica, tanto en ambos géneros ($\beta = 8,094$; IC 95 % = 6,243-9,945) como en niños de mayor edad ($\beta = 12,376$; IC 95 % = 6,764-17,988). Se concluye que un PGC elevado se asocia de manera significativa con predictores probabilísticos más altos de PAE y de PA sistólica elevada (OR > 1, $p < 0,05$), en comparación con pacientes con PA normal. En cuanto a la edad, los predictores del PGC para PAE y PA sistólica elevada entre los participantes de 7 a 12 años fueron relativamente bajos en comparación con los de 16 a 17 años. Concluye que el aumento del PGC es un factor de riesgo determinante para el desarrollo de hipertensión, y enfermedades cardiovasculares y debe ser monitorizado desde edades tempranas ⁴⁷.

Por último, Miranda y colaboradores reclutaron en Viçosa, Brasil, 96 adolescentes de entre 14 y 19 años para evaluar en qué medida la diversidad de la microbiota intestinal, las concentraciones de ácidos grasos de cadena corta y los marcadores inflamatorios están asociados con un alto PGC, sobrepeso y obesidad. Se midieron la circunferencia de cintura, la relación cintura-altura y la circunferencia del cuello como indicadores de adiposidad visceral central. El PGC fue evaluado mediante DEXA. La abundancia de Firmicutes, Bacteroidetes y Proteobacterias se analizó mediante RT-qPCR. Las concentraciones de ácidos acético, butírico

y propiónico se determinaron mediante HPLC y se evaluaron los marcadores inflamatorios: leptina, TNF- α , IL-6 y proteína C reactiva de alta sensibilidad (hs-CRP). Se encontró que aquellos adolescentes con altos niveles de grasa corporal presentaron valores más altos de circunferencia de la cintura, relación cintura-altura, circunferencia del cuello, PGC ginecoide y androide, así como mayores concentraciones de insulina, leptina y resistencia a la insulina (RI)⁴⁸. Estos datos son coincidentes con la ya reportada asociación de un aumento de riesgo metabólico y mayor adiposidad abdominal, además de los cambios en microbiota intestinal (relación entre Firmicutes y Bacteroidetes) y grado de inflamación con obesidad y sobrepeso en población pediátrica.

El estudio muestra una asociación entre marcadores inflamatorios y un aumento del IMC y un PGC elevado. La abundancia de Firmicutes se asoció con una mayor circunferencia de la cintura y del cuello, pero no se observó relación con el IMC ni con el PGC. En conclusión, se proponen la circunferencia de la cintura y la del cuello como buenos predictores de factores de riesgo de enfermedades cardiometabólicas. Además, denotan una asociación con la microbiota intestinal en mujeres adolescentes con sobrepeso. Por ello, la circunferencia de cintura y cuello deben evaluarse en la práctica clínica junto con el IMC, ya que estas mediciones demostraron ser herramientas útiles para predecir la adiposidad abdominal y detectar enfermedades durante la adolescencia como hipertensión, dislipidemias, RI y diabetes⁴⁸.

La evaluación de la CC mediante DEXA permite adaptar una terapia nutricional de precisión. Al contribuir al diseño de planes hipocalóricos, hiposódicos e hiperproteicos adecuados a las necesidades de cada individuo. Esto se traduce en la reducción de la grasa visceral proinflamatoria, la preservación del tejido muscular, el control de la presión arterial y la mejora de la disbiosis intestinal⁴⁹⁻⁵¹.

4.2 ADP

Se ha estudiado la funcionalidad del método ADP en diversas patologías y alteraciones metabólicas. Un estudio de Carey y colaboradores evaluó la validez de la medición de la CC en niños y su relación con la enfermedad inflamatoria intestinal (EII). Utilizó la ADP y la comparó con la dilución de deuterio (DD), utilizando el método de referencia de dos compartimentos. Se determinó el agua corporal total (ACT) para estimar la MLG mediante coeficientes de hidratación. La MG se calculó restando la MLG del peso corporal. Secundariamente, se comparó con otras técnicas de valoración de la CC, como la BIA, DEXA y pliegues cutáneos en cuatro sitios. Se evidenció que la ADP es una técnica prometedora para valorar la CC y evaluar la eficacia de intervenciones nutricionales y médico-quirúrgicas en niños con EII⁵².

Un estudio obtuvo datos de CC en 286 niños de 4 a 8 años, utilizando ADP y resonancia magnética (RM). Se demostró que la RM proporciona una medición más precisa y confiable de la grasa hepática, en comparación con la ADP, la ecografía o los biomarcadores no invasivos. Su uso permitió establecer una relación entre la grasa hepática y la RI, mostrando asociaciones específicas por sexo con la glucosa y los triglicéridos sanguíneos. Esto sugiere que la grasa hepática puede ser un indicador temprano de disfunción metabólica en etapas tempranas de la vida⁵³.

Orsso y colaboradores propusieron el Índice de Capacidad de Carga Metabólica (ICM), que permite identificar factores de riesgo cardiometabólico en niños y jóvenes con obesidad. Utilizaron ADP para calcular el ICM (MG dividida por la MLG); encontraron una relación del ICM con factores de riesgo cardiometabólico individuales (RI e hipertensión). Obtuvieron asociaciones positivas entre el ICM y los marcadores de inflamación y de dislipidemia. Los

participantes con un perfil cardiometabólico desfavorable tuvieron un ICM alto⁵⁴.

Byrne y colaboradores presentaron un estudio sobre la alimentación que incluyó a 379 participantes (de ambos sexos, caucásicos y afroamericanos; principalmente no latinos) de entre 8 y 14 años, con un amplio rango de peso corporal. Se buscó relacionar un modelo biopsicosocial con la ansiedad, la función metabólica (presión arterial, triglicéridos, HDL, LDL, insulina), la CC y la alimentación pediátrica con el trastorno por pérdida de control (LOC), mediante una entrevista clínica. Se puede rescatar que existe utilidad en evaluar la adiposidad con ADP, así como con DEXA en los niños con LOC; ya que se asoció con un aumento de insulina en ayunas y RI. El estudio concluyó que los niños con alimentación LOC tuvieron mayor IMC y MG, de acuerdo con el modelo biopsicosocial propuesto⁵⁵.

Un estudio de cohorte prospectivo se realizó por el grupo de trabajo de Dhaliwal, en niños de 5 a 17 años con EII que iniciaron tratamiento con Infliximab. Se evaluó la CC mediante ADP, utilizando la ecuación de Lohman, que considera la variabilidad del estado de hidratación y del contenido mineral óseo. Se calculó el Índice de MG ($IMG = MG [kg]/altura^2 [m]$) para determinar el exceso de adiposidad ($IMG \geq$ percentil 75). El estudio concluye que el exceso de adiposidad afecta aproximadamente a 1 de cada 4 pacientes jóvenes con EII y puede pasar desapercibido en los exámenes rutinarios⁵⁶.

El uso de ADP en el seguimiento de EII permite vincular la CC con el uso de fórmulas alimenticias de fácil digestión e inmunomoduladoras (Omega-3 y glutamina). Estos nutrientes optimizan la absorción y mitigan la inflamación sistémica para restaurar la función metabólica. En pacientes con ansiedad y LOC, el monitoreo preciso de la MG es fundamental para normalizar indicadores como la insulina y los

triglicéridos. Esto mediante el diseño de dietas específicas que corrigen el perfil bioquímico y el equilibrio intestinal^{57,58,59}.

4.3 BIA

Un estudio de Rowan y colaboradores reportan el uso de BIA para determinar la CC junto con otros dos métodos. Reclutaron a pacientes de 7 y 9 años cuyas madres tuvieron diabetes gestacional y recibieron metformina o insulina durante el embarazo. Los niños fueron evaluados a los 7 y 9 años mediante antropometría, BIA, DEXA, MR y pruebas sanguíneas. El estudio muestra que los hijos de madres que recibieron insulina (que reportaron glicemia mayor al ingreso del estudio) tienen un porcentaje de grasa total similar entre los 7 y los 9 años. Las madres con metformina presentaron un IMC más alto al entrar al estudio; pero ganaron menos peso. Sin embargo, su descendencia tuvo mayor peso a los 9 años. Tanto BIA como DEXA y MR, permitieron concluir que el tratamiento durante el embarazo no se asocia con alteraciones metabólicas ni de la CC de la descendencia⁶⁰.

Un estudio realizado por Sese y colaboradores, examinó la asociación entre los índices de MG y MLG y marcadores de RI. Fue un estudio transversal con 925 adolescentes (430 hombres) de 14.9 ± 1.2 años y se midieron, talla, peso, antropometría, exámenes sanguíneos, índices de MG, MLG y HOMA. Para las mediciones de la CC utilizaron un BIA101 tetrapolar clásico; siguieron las mediciones estándar para estimar la MLG (estimada a partir del BIA como marcador de masa muscular) utilizando fórmulas validadas y por consiguiente, la MG la calcularon mediante una resta. Uno de los hallazgos principales fue que la MG calculada mediante distintos métodos se asoció positivamente con los índices de RI. Además, concluyen que la MLG parece estar relacionada con la RI en algunos casos⁶¹.

Por otro lado, utilizando BIAV se ha demostrado una correlación positiva entre el PhA bajo

y el riesgo de desnutrición en población pediátrica, por lo que el valor del PhA permitiría identificar con precisión el grado de desnutrición en población pediátrica y diseñar intervenciones dietéticas adaptadas al paciente ⁶².

5. CONCLUSIONES

Actualmente existen tecnologías sofisticadas que permiten el estudio de la CC, lo cual resulta útil para evaluar el estado nutricional y detectar alteraciones fisiológicas o metabólicas. Esto cobra especial importancia para la población infantil, que a edades más tempranas presenta obesidad y trastornos metabólicos. El uso de técnicas vanguardistas como DEXA, BIA y ADP para detectar oportunamente alteraciones metabólicas es imperante, o bien de índices antropométricos validados con métodos indirectos. En la práctica clínica, estimar la CC es importante para prevenir complicaciones metabólicas y endocrinas. La CC guarda una relación estrecha con el estado de salud en general. Por ejemplo, un exceso de grasa corporal se ha relacionado con problemas cardiovasculares, tales como arteriosclerosis, hipertensión arterial, diabetes, dislipidemias, enfermedad pulmonar obstructiva crónica y osteoartritis⁶³. Incluso, se ha relacionado el exceso de grasa corporal con síntomas de depresión y ansiedad⁶⁴. La determinación de masa magra es importante, considerando que también un tejido muscular disminuido puede ser señal de desnutrición ⁶⁵.

Actualmente, el uso de métodos precisos como DEXA y BIA son de elección para la evaluación de la adiposidad que se relaciona con el riesgo metabólico en población pediátrica, la BIA es considerada una herramienta útil y práctica en contextos clínicos de primer nivel, escolares o comunitarios, para ayudar en el monitoreo de programas de prevención de obesidad y síndrome metabólico, así como en el seguimiento de otras patologías más complejas.

En México, diversos autores han desarrollado ecuaciones antropométricas específicas de sumatoria de pliegues cutáneos para la estimación de la CC en población pediátrica local, presentando una concordancia alta de estimación^{59,60}. En relación con la BIA, se han realizado estudios comparativos de su precisión con métodos de referencia, como el DEXA y la dilución de deuterio, que han detectado variaciones significativas entre el método de referencia y la BIA. Estas variaciones son influidas porque los equipos de bioimpedancia usan ecuaciones predictivas desarrolladas en otras poblaciones. Se recomienda usar los resultados con cautela y conjuntamente con otros indicadores de adiposidad como: la circunferencia de cintura o fórmulas y ecuaciones adaptadas a población mexicana de sumatoria de pliegues cutáneos^{66,67,68}.

5.1 Futuras investigaciones

Estimar la CC durante la etapa pediátrica representa un reto, ya que existen cambios biológicos que la modifican, como: los brotes de crecimiento y maduración sexual en la adolescencia, entre otros. Por ello, resulta relevante realizar más investigaciones que incluyan métodos para estimar la CC y su relación con el estado nutricional y metabólico en la población infantil. Del mismo modo, es importante utilizar la información obtenida mediante estos métodos para el diagnóstico clínico y el seguimiento de la eficacia de los tratamientos. No obstante, como se ha dejado claro en esta revisión, el acceso a equipos de precisión no siempre es posible, especialmente en la práctica clínica de primer nivel. Por ello resulta relevante la validación de estimadores de la CC prácticos, simples y de bajo costo para el uso de los profesionales de la salud en pediatría. Estos estimadores deben permitir valorar no solo la relación entre el peso y la talla, sino también entre la masa grasa corporal y la masa libre de grasa. Actualmente, gracias a la implementación de nuevas tecnologías informáticas y de inteligencia artificial, la colaboración de los expertos

en la generación de modelos y algoritmos bioinformáticos es posible a un ritmo más rápido y con mayor precisión. Sin embargo, es importante que se continúe trabajando, sobre todo en poblaciones pediátricas, donde resulta difícil extrapolar los resultados obtenidos en adultos.

REFERENCIAS

1. Ravasco P, Anderson H, Mardones F. Métodos de valoración del estado nutricional. *Nutr Hosp*. 2010; 25(3): 57-66.
2. Pérez-Lisiane M, Mattiello R. Determinantes de la composición corporal en niños y adolescentes. *Rev Cuid*. 2018; 9(2): 2101-04.
3. Kobylńska M, Antosik K, Decyk A, Kurowska K, Skiba D. Body Composition and Anthropometric Indicators in Children and Adolescents 6-15 Years Old. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(18):11591.
4. Paredes J. Análisis de composición corporal y su uso en la práctica clínica en personas que viven con obesidad. *Rev Med Clin Cond*. 2022; 33(6): 615-22.
5. Pedraza DF. Estado nutricional como factor y resultado de la seguridad alimentaria y nutricional y sus representaciones en Brasil. *Rev Sal Pub*. 2004(2):140-55.
6. Suverza A. Antropometría y composición corporal. En: Suverza A, Haua K editores. *El ABCD de la evaluación del estado de nutrición*. México; McGRAW-HILL Interamericana Editores; 2010. p. 29-70.
7. González Jiménez E. Composición corporal: estudio y utilidad clínica [Body composition: assessment and clinical value]. *Endocrinol Nutr*. 2013; 60(2): 69-75.
8. Lopez-Gonzalez D, Wells JCK, Parra-Carriedo A, Bilbao G, Mendez M, Clark P. Body Composition Assessment in Mexican Children and Adolescents. Part 1: Comparisons between Skinfold-Thickness, Dual X-ray Absorptiometry, Air-Displacement Plethysmography, Deuterium Oxide Dilution, and Magnetic Resonance Imaging with the 4-C Model. *Nutrients*. 2022;14(5):1073.
9. Van Eyck A, Eerens S, Trouet D, Lauwers E, Wouters K, De Winter BY, et al. Body composition monitoring in children and adolescents: reproducibility and reference values. *Eur J Pediatr*. 2021; 180(6): 1721-32.
10. Green TP, Binns HJ, Wu H, Ariza AJ, Perrin EM, Quadri M, et al. Estimation of Body Fat Percentage for Clinical Pharmacokinetic Studies in Children. *Clin Transl Sci*. 2021; 14(2): 509-17.
11. Leong C, Haszard JJ, Heath AM, Tannock GW, Lawley B, Cameron SL, et al. Using compositional principal component analysis to describe children's gut microbiota in relation to diet and body composition. *Am J Clin Nutr*. 2020; 111(1): 70-8.
12. Borga M, West J, Bell JD, Harvey NC, Romu T, Heymsfield SB, et al. Evaluación avanzada de la composición corporal: desde el índice de masa corporal hasta el perfil de composición corporal. *J Investig Med*. 2018; 66(5): 1-9.
13. Wang ZM, Pierson RN Jr., Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*. 1992; 56(1): 19-28.
14. Clarys JP, Martin AD, Drinkwater DT. Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Hum Biol*. 1984; 56: 459-73.
15. Piñeda AG, Amórtégui IM, Rodríguez CP, Rojas YS, Santana LG. Métodos y técnica antropométrica para el cálculo de la composición corporal. *Rev Ing Mat Cien Inf*. 2018; 10(5): 61-70.
16. Going SB, Desintometry. En Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG editors. *Human body composition*. Champaign IL; Human Kinetics Publishers; 1996. p. 3-23.
17. McLester CN, Nickerson BS, Kliszczewicz BM, McLester JR. Fiabilidad y concordancia de varios analizadores de composición corporal InBody en comparación con la absorciometría de rayos X de doble energía en hombres y mujeres sanos. *J Clin Densitom*. 2020; 23(3): 443-50.
18. Snik DAC, de Roos NM. Criterion validity of assessment methods to estimate body composition in children with cerebral palsy: A systematic review. *Ann Phys Rehabil Med*. 2021; 64(3): 101271.
19. Hernández-Ortega A, Osuna-Padilla IA. Concordancia entre técnicas de composición corporal en niños y adolescentes: revisión narrativa de la literatura. *Rev Med IMSS*. 2020; 58(2): 181-96.
20. Ayvaz G, Çimen A. Methods for Body Composition Analysis in Adults. *Open Obes J*. 2011; 311(1): 62-9.
21. Guerrero-Zúñiga S, Vázquez-García JC, Gochicoa-Rangel L, Cid-Juárez S, Benítez-Pérez R, del-Río-Hidalgo R, et al. Plethysmografía corporal: recomendaciones y procedimiento. *Neumol Cir Torax*. 2016; 75(4): 296-07.
22. Cruz JRA, Gómez LC, Ronconi M, Vázquez RF, Manzanillo PJ. La bioimpedancia eléctrica como método de estimación de la composición corporal, normas prácticas de utilización. *Rev Andal Med Deporte*. 2010; 3(3): 167-74.
23. Berral RFJ, Rodríguez BE. Impedancia bioeléctrica y su aplicación en el ámbito hospitalario. *Rev Hosp Jua Mex*. 2007; 74 (2): 104-112.
24. Verduin WM, Van Den Helder R, Doodeman HJ, Struijff E, Houdijk AP. DEXA Body Composition Assessment in 10-11 Year Healthy Children. *PLoS One*. 2016; 11(10): e0165275.
25. Tan C, Chan KE, Ng CH, Tseng M, Syn N, Tang ASP, et al. DEXA Scan Body Fat Mass Distribution in Obese and Non-Obese Individuals and Risk of NAFLD-Analysis of 10,865 Individuals. *J Clin Med*. 2022; 11(20): 6205.
26. Kasper AM, Langan-Evans C, Hudson JF, Brownlee TE, Harper LD, Naughton RJ, et al. Come Back Skinfolds, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*. 2021;13(4):1075.
27. Campa F, Toselli S, Mazzilli M, Gobbo LA, Coratella G. Assessment of Body Composition in Athletes: A Narrative Review of Available Methods with Special Reference to Quantitative and Qualitative Bioimpedance Analysis. *Nutrients*. 2021;13(5):1620.
28. Ares Blanco J, Valdés Hernández S, Botas Cervero P, Sánchez-Ragnarsson C, Pujante Alarcón P, Menéndez-Torre

- E, et al. Estimation of body fat mass using the CUN-BAE index and mortality risk by sex in the Asturias Study cohort. *Endocrinol Diabetes Nutr (Engl Ed)*. 2019;66(8):487-494.
29. Sant'anna MSL, Priore SE, Franceschini SCC. Métodos de avaliação da composição corporal em crianças. *Rev Paul Pediatr*. 2009; 27(3): 315-21.
 30. Moran JM, Lavado-García JM, Pedrera-Zamorano JD. Methods for nurses to measure body composition. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2011; 19(4): 1033-8.
 31. Moreno LAA, Fleta JZ, Rodríguez GM, Sarría AC, Bueno MS. Masa grasa corporal en niños y adolescentes de sexo masculino. *Anl Esp Ped*. 1999; 51(6)7: 629-63.
 32. Baucé GJ. Estudio comparativo del porcentaje de grasa corporal en niños y adolescentes de tres ciudades de Venezuela: 2008-2010. *Rev Inst Nac Hig*. 2018; 49(2): 25-32.
 33. Woolcott OO, Bergman RN. Relative Fat Mass as an estimator of whole-body fat percentage among children and adolescents: A cross-sectional study using NHANES. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 15279.
 34. Niu Y, Zhang Y, Sheng J, Lu W, Li J, Mao X, et al. Tri-ponderal mass index as a screening tool for obesity prediction in children aged 6-9 years. *Front Endocrinol (Lausana)*. 2023; 14: 1277125.
 35. Kurtoglu S, Mazicioglu MM, Ozturk A, Hatipoglu N, Cicek B, Ustunbas HB. Body fat reference curves for healthy Turkish children and adolescents. *Eur J Pediatr*. 2010; 169(11): 1329-35.
 36. Rodrigues de Faria E, Rocha de Faria F, Gonçalves VSS, Franceschini SCC, Peluzio MCG, Sant'Ana LF, et al. Prediction of body fat in adolescents: comparison of two electric bioimpedance devices with dual-energy X-ray absorptiometry. *Nutr Hosp*. 2014; 30(6): 1270-8.
 37. Murray MH, Martín-Rivada A, Quintero CA, Ruiz, Ramallo YF. Composición corporal y evolución nutricional en adolescentes con anorexia nerviosa. *A Pediatr (Barc)*. 2023; 99(3): 162-69.
 38. Kouwenhoven SMP, Antl N, Twisk JWR, Koletzko BV, Finken MJJ, van Goudoever JB. Methods to Assess Fat Mass in Infants and Young Children: A Comparative Study Using Skinfold Thickness and Air-Displacement Plethysmography. *Life (Basel)*. 2021; 11(2): 75.
 39. Chen F, Wu L, Chen Y, Wang J, Liu J, Huang G, Hou D, Liao Z, Zhang T, Xie X, Liu G. A comparison of bioelectrical impedance analysis and air displacement plethysmography to assess body composition in children. *Front Public Health*. 2023 Jul 4;11:1164556.
 40. Bijlsma A, van Beijsterveldt IALP, Vermeulen MJ, Beunders VAA, Dorrepaal DJ, Boeters SCM, et al. Challenges in body composition assessment using air-displacement plethysmography by BOD POD in pediatric and young adult patients. *Clin Nutr*. 2023; 42(9): 1588-94.
 41. de-Mateo-Silleras B, de-la-Cruz-Marcos S, Alonso-Izquierdo L, Camina-Martín MA, Marugán-de-Miguelsanz JM, Redondo-Del-Río MP. Bioelectrical impedance vector analysis in obese and overweight children. *PLoS One*. 2019; 14(1): e0211148.
 42. Larsen MN, Krstrup P, Araújo Póvoas SC, Castagna C. Accuracy and reliability of the InBody 270 multi-frequency body composition analyser in 10-12-year-old children. *PLoS One*. 2021; 16(3): e0247362.
 43. Kettaneh A, Heude B, Lommez A, Borys JM, Ducimetière P, Charles MA. Reliability of bioimpedance analysis compared with other adiposity measurements in children: the FLVS II Study. *Diabetes Metab*. 2005; 31(6): 534-41.
 44. Thajer A, Skacel G, Truschner K, Jorda A, Vasek M, Horsak B, et al. Comparison of Bioelectrical Impedance-Based Methods on Body Composition in Young Patients with Obesity. *Children (Basel)*. 2021; 8(4): 295.
 45. Manterola C, Grande L, Otzen T, García N, Salazar P, Quiroz G. Confiabilidad, precisión o reproducibilidad de las mediciones. Métodos de valoración, utilidad y aplicaciones en la práctica clínica. *Rev Chil Infectol*. 2018; 35(6): 680-88.
 46. Kim SH, Kim SE, Kim S, Ahn MB, Cho WK, Cho KS, et al. The association of serum irisin with anthropometric, metabolic, and bone parameters in obese children and adolescents. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2024; 14: 1326851.
 47. Chen M, Liu J, Ma Y, Li Y, Gao D, Chen L, et al. Association between Body Fat and Elevated Blood Pressure among Children and Adolescents Aged 7-17 Years: Using Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DEXA) and Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) from a Cross-Sectional Study in China. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(17): 9254.
 48. Miranda VPN, Dos Santos Amorim PR, Bastos RR, de Faria ER, de Castro Moreira ME, et al. Abundance of Gut Microbiota, Concentration of Short-Chain Fatty Acids, and Inflammatory Markers Associated with Elevated Body Fat, Overweight, and Obesity in Female Adolescents. *Mediators Inflamm*. 2019; 7346863.
 49. Andreoli A, Garaci F, Cafarelli FP, Guglielmi G. Body composition in clinical practice. *Eur J Radiol*. 2016;85(8):1461-8.
 50. Wopat H, Harrod T, Brem RF, Kaltman R, Anderson K, Robien K. Body composition and chemotherapy toxicity among women treated for breast cancer: a systematic review. *J Cancer Surviv*. 2024;18(4):1356-69.
 51. Leong C, Haszard JJ, Heath AM, Tannock GW, Lawley B, Cameron SL, et al. Using compositional principal component analysis to describe children's gut microbiota in relation to diet and body composition. *Am J Clin Nutr*. 2020;111(1):70-78.
 52. Carey AN, Quinn N, Arouchon K, Elman DM, Buccigrosso TM, Mitchell PD, et al. Air Displacement Plethysmography is an Accurate and Feasible Noninvasive Measure of Fat-Free Mass in Children with Intestinal Failure. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*. 2023; 77(4): 553-57.
 53. Cohen CC, Perng W, Sundaram SS, Scherzinger A, Shankar K, Dabelea D. Hepatic Fat in Early Childhood Is Independently Associated with Estimated Insulin Resistance: The Healthy Start Study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2021; 106(11): 3140-50.
 54. Orsso CE, Vieira FT, Basuray N, Duke RL, Pakseresht M, Rubin DA, et al. The metabolic load-capacity model and cardiometabolic health in children and youth with obesity. *Pediatr Obes*. 2024; 19(3): e13098.
 55. Byrne ME, Tanofsky-Kraff M, Kelly NM, Grammer AC, Jaramillo M, Mi SJ, et al. Pediatric Loss-of-Control Eating and

- Anxiety in Relation to Components of Metabolic Syndrome. *J Pediatr Psychol.* 2019; 44(2): 220–28.
56. Dhaliwal J, Martincevic I, Williams B, Frost K, Uusoue K, Arpino V, et al. Body Composition Using Air Displacement Plethysmography in Children with Inflammatory Bowel Disease. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 2020; 71(1): 52-8.
 57. Penagini F, Dillillo D, Borsani B, Cococcioni L, Galli E, Bedogni G, et al. Nutrition in Pediatric Inflammatory Bowel Disease: From Etiology to Treatment. A Systematic Review. *Nutrients.* 2016;8(6):334.
 58. Bischoff SC, Escher J, Hébuterne X, Kłęk S, Krznaric Z, Schneider S, et al. Nutrición clínica en la enfermedad inflamatoria intestinal [ESPEN guideline: Clinical nutrition in inflammatory bowel disease]. *Nutr Hosp.* 2022 ;39(3):678-703. Spanish.
 59. Aguilar-Galarza A, Hernández-Meza M, Rojas-Saavedra KC, de la Torre-Carbot K, Fuente-González CE, Chávez-Servín JL. Prevalence of Emotional Eating and Its Relationship with Anthropometric and Biochemical Indicators in University Students. *Nutrients.* 2026;18(5):853.
 60. Rowan JA, Rush EC, Plank LD, Lu J, Obolonkin V, Coat S, et al. Metformin in gestational diabetes: the offspring follow-up (MiG TOFU): body composition and metabolic outcomes at 7-9 years of age. *BMJ Open Diabetes Res Care.* 2018; 6(1): e000456.
 61. Sese M, Moreno LA, Censi L, Bresidenassel C, González-Gross M, Sjöström M, et al. Association of body composition indices with insulin resistance in European adolescents: the HELENA study. *Nutr Hosp.* 2016; 33(3): 257.
 62. Franco-Oliva A, Ávila-Nava A, Rodríguez-Aguilar EA, Trujillo-Mercado A, García-Guzmán AD, Pinzón-Navarro BA, et al. Association between phase angle and the nutritional status in pediatric populations: a systematic review. *Front Nutr.* 2023;10:1142545.
 63. Holmes CJ, Racette SB. The Utility of Body Composition Assessment in Nutrition and Clinical Practice: An Overview of Current Methodology. *Nutrients.* 2021;13(8):2493.
 64. Torres L, Caciula MC, Tomoiaga AS, Gugu-Gramatopol C. Correlations between Mental Health, Physical Activity, and Body Composition in American College Students after the COVID-19 Pandemic Lockdown. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(22):7045.
 65. Prado CM, Landi F, Chew STH, Atherton PJ, Molinger J, Ruck T, et al. Advances in muscle health and nutrition: A toolkit for healthcare professionals. *Clin Nutr.* 2022;41(10):2244-2263.
 66. Ramírez E, Valencia ME, Moya-Camarena SY, Alemán-Mateo H, Méndez RO. Four-compartment model and validation of deuterium dilution technique to estimate fat-free mass in Mexican youth. *Nutrition.* 2009;25(2):194-9.
 67. Ortiz-Hernández L, Vega López AV, Ramos-Ibáñez N, Cázares Lara LJ, Medina Gómez RJ, Pérez-Salgado D. Equations based on anthropometry to predict body fat measured by absorptiometry in schoolchildren and adolescents. *J Pediatr.* 2017;93(4):365-73.
 68. Hernández-Ortega A, Osuna-Padilla IA. Concordancia entre técnicas de composición corporal en niños y adolescentes: revisión narrativa de la literatura. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc.* 2020; 58(2): 181-196.