

Composición corporal a través del Análisis de Impedancia Bioeléctrica (BIA)

Robinson Cruz¹

¹Nutricionista. Doctor en Salud Pública. Director del Instituto de Investigación para el desarrollo de la Nutriología - IIDENUT.

Email: robinson.cruz@iidenut.com

Capacidades adquiridas: Al finalizar el artículo, los lectores podrán:

- a. Sustentar los fundamentos fisiológicos y prácticos que dan soporte a la impedancia bioeléctrica.
- b. Describir las aplicaciones clínica de la impedancia bioeléctrica.
- c. Emplear con mayor precisión la información proveída por la impedancia bioeléctrica.

Palabras claves: *Composición corporal, BIA, impedancia bioeléctrica, niveles de composición, masa magra, masa grasa.*

Resumen

El peso corporal es sin lugar a dudas una de las medidas antropométricas más utilizadas en la práctica clínica tanto médica como nutricional. No obstante su amplia difusión, el peso es también, una de las medidas que mayor error puede introducir a cualquier sistema de evaluación asociado con él. El cuerpo humano posee más de 30 componentes o compartimientos que se pueden distribuir en 5 niveles jerárquicos de organización que van desde el más elemental al más complejo; estos niveles son: atómico, molecular, celular, tisular y global. La mayor parte de métodos para evaluar la composición corporal pueden agruparse en dos categorías (existen muchas más en función del principio utilizado para la categorización): métodos mecánicos y métodos descriptivos. La impedancia bioeléctrica (BIA) se basa en la respuesta que los tejidos biológicos presentan al paso de una corriente eléctrica alterna de baja intensidad. El físico francés Thomasset introdujo este concepto en la década de los 60, estableciendo que existe una fuerte asociación entre el agua total del cuerpo y la impedancia eléctrica. Para desarrollar el BIA se utilizan electrodos que se pueden ubicar en configuración estándar o segmental, se pueden utilizar equipo mono y multifrecuencia; los resultados se pueden interpretar usando patrones estándar o vectoriales y existen una amplia gama de equipos que varían en precisión y costo. Los equipos especializados, notablemente más costosos y precisos proporcionan los siguientes resultados: masa magra, masa grasa, masa celular corporal, masa extracelular, masa muscular, agua corporal total, agua intra y extracelular, fluidos extracelulares, fluidos intersticiales, fluidos plasmáticos, sólidos extracelulares, masa proteica, masa mineral, calcio corporal total, potasio corporal total, glucógeno, depuración de creatinina (siempre y cuando se proporcione el valor de la creatinina plasmática), filtración glomerular y peso seco.

1. Composición corporal

El peso corporal es sin lugar a dudas una de las medidas antropométricas más utilizadas en la práctica clínica tanto médica como nutricional. En la parte médica, por ejemplo, es tomado como referencia para calcular la cantidad de medicamento que será administrada a un paciente o la pertinencia o no de aplicar ciertos procedimientos. En el ámbito nutricional, el peso es útil para evaluar el estado de nutrición en cualquier etapa de la vida, estado fisiológico o fisiopatológico; cuando se combina con la edad o la talla es útil para evaluar el crecimiento de los niños; y como parte de un sistema de monitoreo es útil para evaluar la evolución del tratamiento nutricional, entre otras cosas. No obstante su amplia difusión, el peso es también, una de las medidas que mayor error puede introducir a cualquier sistema de evaluación asociado con él. Sin ir muy lejos, dos personas de la misma talla, sexo y hasta edad pueden presentar exactamente el mismo peso pero con marcadas diferencias en distribución de sus componentes.

El término composición corporal debe entenderse como una manera de describir la forma en la que está constituido el ser humano y el modo en que estos componentes pueden interactuar a lo largo de su ciclo biológico tanto en la salud como en la enfermedad. Es prácticamente imposible entender el

comportamiento fisiológico y fisiopatológico de una persona sin tener una idea más o menos clara de como está constituida, sobre todo si se tiene en cuenta, que aunque la composición corporal está determinada genéticamente, también está sujeta a la influencia de los factores ambientales tales como hábitos alimentarios, culturales e incluso estéticos (1)

El cuerpo humano posee más de 30 componentes o compartimentos que se pueden distribuir en 5 niveles jerárquicos de organización que van desde el más elemental al más complejo; estos niveles son: atómico, molecular, celular, tisular y global (figura 1). (2). Es importante anotar que la organización jerárquica se fundamenta en una premisa, los cambios en los niveles jerárquicamente superiores siempre va precedida de cambios en los niveles inferiores, por ejemplo, una pérdida de tejido muscular esquelético (nivel tisular) propia de cuadros de emaciación va precedida de una disminución en el número y el tamaño de los miocitos (nivel celular); aumento del agua extracelular por contracción del agua intracelular (nivel molecular) debido a la reducción del volumen de las células o la destrucción de las mismas, con lo cual se produce el traslado del agua de un compartimento al otro; e incluso disminución del número de átomos de K (nivel atómico), dado que las principales reservas orgánicas se encuentran intracelularmente.

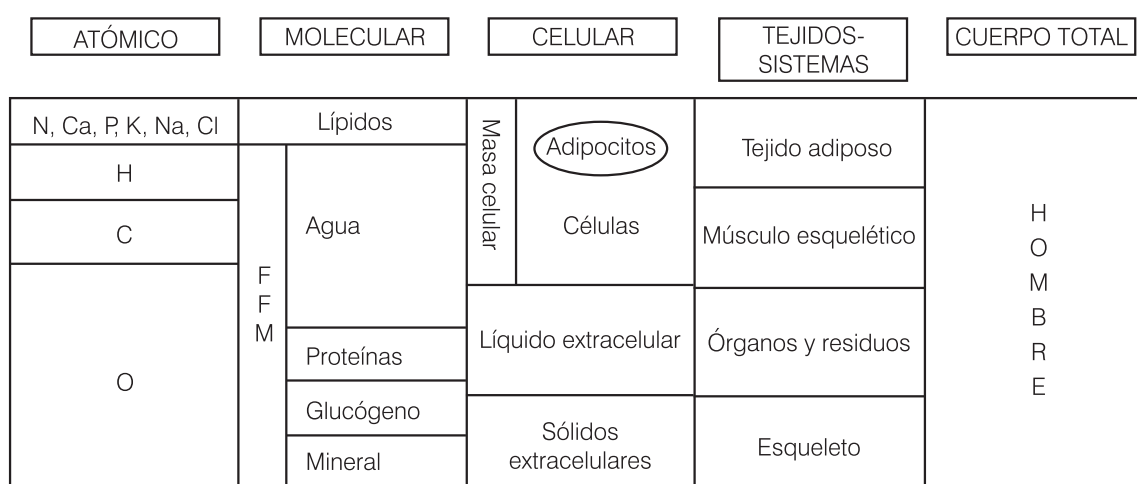


Figura 1. Niveles de organización de la composición corporal

Nivel atómico

El cuerpo humano está formado por más de una decena de elementos; 5 de ellos, - oxígeno (60%), carbono (23%), hidrógeno (10), nitrógeno (2.6%), calcio (1.4%) -, explican aproximadamente el 97% del peso corporal de un hombre adulto de 70 kg; mientras que menos del 3% lo constituyen los elementos traza – sodio, potasio, cloro, fósforo, magnesio, azufre-(3).

Nivel molecular

Los átomos principales del nivel previo se

agrupan en el nivel molecular para formar 6 compuestos principales: agua; lípidos, proteínas, carbohidratos, minerales óseos y no óseos. El agua es la molécula más abundante, mientras que los lípidos constituyen los elementos que más varían de persona a persona. Las moléculas corporales se pueden agrupar además de la siguiente manera: masa grasa y masa libre de grasa; esta última reúne a las proteínas, el glucógeno, el agua, los minerales óseos y no óseos. En inglés la masa libre de grasa se conoce como free fat mass (4, 5,6).

Componente	% del peso corporal
Lípidos	
-Hombre	10-15%
-Mujer	20-25%
Proteínas	15-16%
Glucógeno	0.5-1.0%
Minerales óseos y no óseos	5.3%
Agua	60-70%

Tabla 1. Moléculas principales del cuerpo

Nivel Celular

En este nivel, el cuerpo puede ser dividido en dos componentes principales: las células corporales y los elementos presentes fuera de éstas. Las células corporales específicas son de 4 tipos, conectivas, epiteliales, nerviosas y musculares. Dentro de cada célula se encuentra la proporción protoplasmática activa conformada por todos los elementos involucrados en el consumo de oxígeno y la producción de energía. Esta sección protoplasmática se conoce como masa celular corporal (BCM por sus siglas en inglés Body Cell Mass). Se excluye del conteo de la masa celular corporal, los triglicéridos contenidos primariamente dentro de un tipo de célula conectiva especializada, los adipocitos. Por tanto, el nivel celular se divide en grasa, masa celular corporal y masa extracelular (sólidos extracelulares y fluidos extracelulares) (7).

Nivel tisular

A este nivel, los componentes más importantes incluyen: el tejido adiposo, muscular esquelético, huesos, órganos viscerales (hígado, riñones, páncreas, cerebro, tracto gastrointestinal, corazón y pulmones), los sistemas celulares (médula ósea, elementos celulares de la sangre) y residual.

El tejido adiposo incluye adipocitos, fibras colágenas, fibroblastos, capilares y fluido extracelular. El tejido adiposo puede ser de 4 tipos: subcutáneo, visceral, intersticial y pardo. Del 50 al 60% de la grasa corporal es de tipo subcutáneo, no obstante, los otros tipos igualmente importantes; por ejemplo, la disminución de la grasa visceral o retroperitoneal por debajo de un valor crítico se asocia con ptosis renal y sepsis urinaria recurrente, mientras que el envejecimiento se

asocia con un aumento de la grasa intramuscular (1)

El 75% del tejido muscular esquelético se concentra en las extremidades (8). Los aminoácidos que forman el tejido muscular esquelético pueden ser convertidos mediante diferentes rutas gluconeogénicas en nueva glucosa. En condiciones de ayuno prolongado no complicado, estos aminoácidos constituyen la segunda fuente energética del cuerpo, después del glucógeno y junto con los lípidos almacenados; mientras que en condiciones de injuria severa representan una fuente de energía de primer orden.

Nivel global

En este nivel se incluyen propiedades del cuerpo como un todo: talla, peso, índice de masa corporal, superficie corporal, densidad corporal

2. Métodos para evaluar la composición corporal

Probablemente el método más preciso para evaluar la composición corporal sea la

disección; no obstante, en la práctica esto es imposible de llevar a cabo en personas vivas. Por esta razón la mayor parte de métodos pueden agruparse en dos categorías (existen muchas más en función del principio utilizado para la categorización): métodos mecánicos y métodos descriptivos.

Los primeros están normalmente basados en la asociación estable que existe entre los componentes corporales, por ejemplo, la relación que existe entre masa celular y nivel de potasio corporal, permite que el método que cuenta potasio, sirva para determinar el número de células corporales. Los métodos mecánicos son costosos y su empleo en el campo es restringido porque en la mayoría de los casos se debe emplear equipos grandes, costosos y que requieren de ciertas condiciones controladas que sólo se pueden obtener en un laboratorio permanente (tabla 2)

<p>Basados en el análisis de imágenes Radiología Tomografía Axial computarizada (TAC) Absorciometría dual de rayos X (DEXA) Resonancia magnética nuclear Ultrasonido</p>
<p>Basados en el análisis de propiedades fisicoquímicas Análisis por neutrones Espectrometría Dilución de solutos isotópicos Marcadores químicos de la orina</p>
<p>Basados en empleo de pruebas densitométricas Pesada hidrostática</p>

Tabla 2. Clasificación de los métodos mecánicos de composición corporal

Los métodos descriptivos, por otro lado, son menos costosos, de amplia aplicación en campo y su fiabilidad depende de aquella del método mecánico que sirvió como referencia para su desarrollo. Se caracterizan por correlacionar de un modo estadísticamente significativo una

medida determinada y un componente corporal, por ejemplo, valor del pliegue cutáneo tricipital y contenido de grasa corporal; sin embargo, también requieren de fórmulas perfectamente válidas (para esto se usan los métodos mecánicos) que permitan predecir la

relación que existe entre la medida y el componente corporal.

En general, los métodos de valoración de la composición corporal presentan diversos fundamentos (tabla 3), muchos de ellos se fundamentan en la misma propiedad funcional con alguna modificación mínima. Poseen

grados variados de precisión, costo, dificultad de ejecución y riesgo para el paciente (tabla 4). A pesar de ello, su difusión es amplia y a medida que se conoce más sobre el impacto que pueden tener los cambios en la composición corporal sobre la recuperación de un enfermo o el mantenimiento de la salud su empleo está adquiriendo notable relevancia.

Técnica	Precisión	Coste	Duración (min)	Dificultad	Peligro
A AN	Muy alta	Muy alto	30	Muy alta	Irradiación
RMN	Alta?	Muy alto	30-60	Muy alta	No
Densitometría	Muy alta	Alto	20	Alta	No
DEXA	Alta	Alto	20	Alta	Irradiación
TOBEC	Alta	Muy alto	10	Baja	No
Antropometría	Baja	Bajo	5	Baja	No
NIR	Baja	Bajo	5	Baja	No
BIA	Alta	Bajo	5	Baja	No

A AN: Análisis de activación neutrónica. RMN: Resonancia nuclear magnética; DEXA: Densitometría de rayos X con doblenivel de energía. TOBEC: Conducta eléctrica corporal total. NIR: Infrarrojo próximo. BIA: Análisis de la impedancia bioeléctrica

Tabla 4. Características generales asociadas a algunos métodos de composición corporal.

Fuente: Referencia 2.

3. Fundamentos del BIA

3.1 Bases fisiológicas

El BIA se basa en la respuesta que los tejidos biológicos presentan al paso de una corriente eléctrica alterna de baja intensidad. El físico francés Thomasset introdujo este concepto en la década de los 60, estableciendo que existe una fuerte asociación entre el agua total del cuerpo y la impedancia eléctrica (10). Bajo estas premisas, la impedancia eléctrica (Z) es definida como la oposición que muestran los materiales biológicos al paso de una corriente eléctrica alterna. Si entre dos puntos A y B se introduce una corriente eléctrica alterna para que fluya entre ellos, esto generará una tensión eléctrica determinada, es decir, una diferencia eléctrica entre lo que se introdujo por el punto A y lo que finalmente arribó al punto B; los datos proporcionados a partir de la medición de la amplitud de la corriente utilizada, la amplitud de la tensión originada en el sistema y la relación que existe entre corriente y tensión se pueden resumir como impedancia eléctrica (Z) (11, 12, 13, 14)

En el cuerpo humano, los tejidos biológicos se comportan como conductores en mayor o menor medida y/o aislantes (dieléctricos) de la corriente eléctrica dependiendo de su composición. Las soluciones electrolíticas intra y extracelulares son óptimos conductores mientras que la grasa y el hueso son pésimos conductores (aislantes). En el tejido adiposo, por ejemplo, la corriente puede atravesar las soluciones electrolíticas del intersticio y los adipocitos, pero no las gotas lipídicas hidrofóbicas de su interior (15).

Consideremos el cuerpo humano como un gran cilindro de longitud "L" (figura 1) y sección transversal "A" –de hecho bajo las premisas estudiadas, el cuerpo sería una sumatoria de cilindros, extremidades superiores, inferiores, tronco-, al que se le aplica una corriente eléctrica de intensidad "I" que genera un potencial "P". Si el cilindro estuviera lleno de una solución electrolítica, esto generaría una impedancia Z igual a "R". No obstante, si el cilindro le introdujéramos membranas o algún otro material condensador (capaz de almacenar temporalmente carga), la

Método	Fundamento	Técnica de aplicación
Hidrodensitometría	Busca obtener la densidad corporal, para luego obtener el porcentaje de grasa y luego el peso de grasa. Se considera el <i>gold Standard</i> para medir grasa.	Se sumerge al individuo en un tanque de agua a temperatura corporal que cuenta con un sistema de báscula colgante para obtener el peso del sujeto en inmersión completa.
Pletismografía	Básicamente el mismo que el anterior. Se en que utiliza el volumen de agua desplazada por el cuerpo sumergido.	La técnica es similar a la previa. El volumen de agua desplazado se mide a través de un dispositivo conectado al tanque.
Equilibrio de flotación	Mide el volumen de agua contenido en una botella sumergida con el sujeto, teniendo en cuenta que el desplazamiento de 1 l ejerce una fuerza hacia arriba de 9.81 newton a 4°C	El sujeto flota en un tanque boca abajo, con una botella plástica conteniendo entre 5 y 6 litros de agua. Se va ajustando la cantidad de agua de la botella, hasta que el cuerpo del sujeto se mantenga junto por debajo de la línea de flotación. Luego se mide cuando agua tenía la botella para determinar el peso.
Absorciometría Dual de protones	Cuando sustrato es bombardeado por una radiación, la absorbe en relación directa a la cantidad de sustrato. Así, se puede calcular la constitución de algunos tejidos a través de lo irradiado	El sujeto se recuesta en la mesa que posee el equipo, luego es explorado con la doble emisión de fotones, midiéndose simultáneamente el porcentaje de absorción de luz
Absorciometría dual de Rayos X	El mismo fundamento anterior, con la diferencia que se usan rayos X. Es considerada el <i>gold Standar</i> para la medición de masa magra.	La técnica es similar a la previa
Tomografía Computada	El fundamento es similar al anterior.	El sujeto es colocado en una mesa rodeada por un anillo que tiene un tubo que emite los rayos. Al otro extremo del anillo esta el tubo receptor que la información relacionada con la atenuación del rayo, reconstruye el segmento bombardeado
Resonancia Magnética nuclear	Es similar a la anterior pero no utiliza radiaciones, lo que la hace más segura. Se basa en la interacción entre sí de los núcleos de los átomos de hidrógeno, y un campo magnético generado por el equipo.	La técnica es similar a la previa
Interactancia infrarroja	La emisión de una radiación electromagnética en espectro cercano al infrarrojo, atraviesa el tejido a medir y es absorbida por la grasa tisular. El residuo no absorbido es reflejado y medido como densidad óptica, siendo inversamente proporcional al contenido graso del tejido medido.	El espectrofotómetro cuenta con un cabezal transductor (emisor-receptor) que se apoya sobre la piel del individuo en el sitio elegido para la medición.
Impedancia bioeléctrica	Se basa en la resistencia que oponen los fluidos, células y tejidos del cuerpo humano al paso de una corriente alterna.	El paciente reposa sobre la cama, y se le colocan electrodos las extremidades del lado derecho del cuerpo.

Tabla 3. Fundamento y técnica de aplicación de algunos métodos modernos de evaluación de composición corporal
Fuente: Referencia 1.

impedancia original igual a "R" crecería a un valor mayor "R" + "Xc", siendo este último valor consecuencia de la adición de membranas. Por tanto, la impedancia Z se puede descomponer en dos componentes: la Resistencia "R" que representa la resistencia

natural de los materiales biológicos al paso de una corriente eléctrica alterna de baja frecuencia; y la reactancia "Xc" que representa las propiedades dieléctricas de los tejidos o la capacidad de acumular temporalmente cargas.

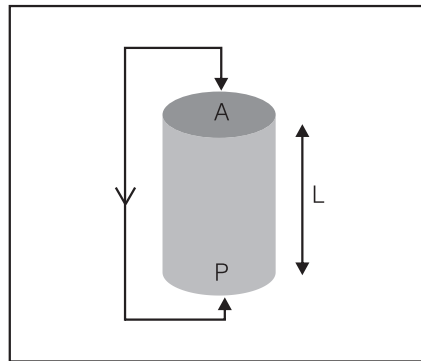


Fig.1: Circulación de corriente a través de un cilindro.

En términos estrictamente analíticos, la impedancia Z se puede definir como un vector formado por dos componentes R y Xc. El

ángulo que forma el vector con el eje horizontal se conoce como ángulo fase, (figura 2)

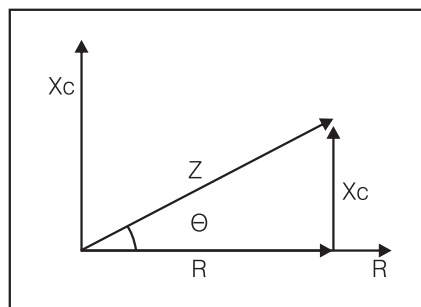


Fig.2: Obtención del vector impedancia en un eje de coordenadas.

3.2 Colocación de electrodos

Configuración BIA estándar

Permite las mediciones de cuerpo entero (whole body) o mano pie. En esta configuración la impedancia total del sujeto está determinada por el 50% de la impedancia de los miembros: en 10% inferiores, 40% en miembros superiores y 10% de la impedancia en el tronco. Los electrodos se colocan en el dorso de la mano y el pie derecho.

Configuración BIA segmental

Permite mediciones del cuerpo tomándolo como segmentos separados. Se consigue

colocando los electrodos en los extremos del miembro superior, inferior y el tronco. Esta configuración todavía no está ampliamente difundida.

3.3 Mediciones utilizando mono o multifrecuencia

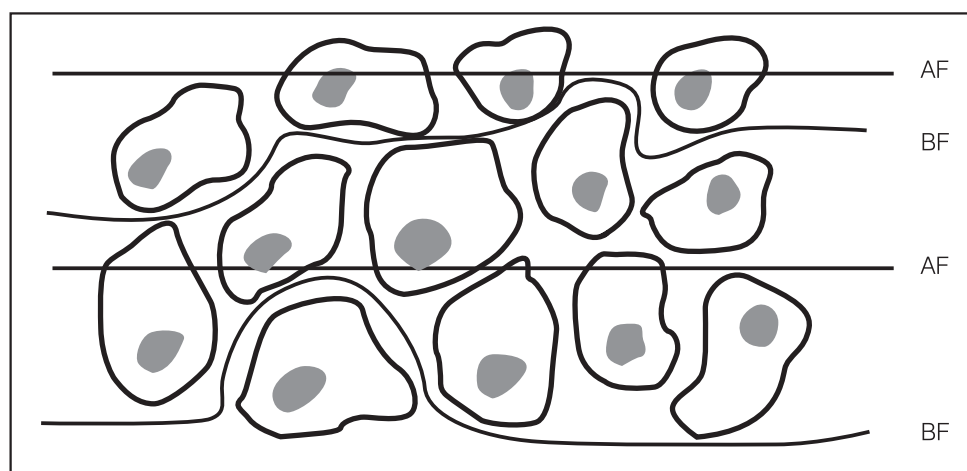
Monofrecuencia

En estos casos, 50 kHz es la frecuencia más utilizada. Existen además, equipos monofrecuencia que utilizan frecuencias bajas menores de 50 kHz, usualmente entre 1-5 kHz. La mayor objeción al empleo de estos equipos descansa en el supuesto que las corrientes de

baja frecuencia no penetran las membranas intracelulares y sólo registran la impedancia del fluido extracelular, lo que introduce al sistema un error considerable debido a que si se toma en cuenta que los resultados del BIA se obtienen a partir del cálculo del contenido de agua corporal total y el agua extracelular sólo representa un tercio del agua corporal total, es lógico suponer que los resultados obtenidos a partir de pruebas desarrolladas con equipos baja frecuencia arrojarán errores considerables.

Multifrecuencia

En los equipos multifrecuencia, la resistencia intracelular se calcula como la diferencia que existe entre la resistencia total (intra y extracelular) obtenida mediante la aplicación de corriente eléctrica a alta frecuencia, normalmente de 200 a 1000 kHz y la resistencia extracelular obtenida a partir de la aplicación de corriente eléctrica a baja frecuencia, usualmente entre 1-5 kHz (figura 3).



BF No Traspasan la pared celular, por lo que la resistencia presentada está determinada por el líquido extracelular
AF Traspasan la pared celular, haciendo que la resistencia presentada esté determinada tanto por el líquido extracelular como por el intracelular.

Fig.3: Paso de corrientes eléctricas a través de tejidos biológicos.

3.4. Modelos de interpretación de resultados

BIA estándar

El valor de la resistencia "R" es introducido en

fórmulas predeterminadas (tabla 5) que sirven para calcular el agua corporal total y la masa magra, a partir de los cuales se calculan los demás componentes corporales.

^a Kushner	$TBW = 0,556 H^2/R + 0,095 Wt + 1,726$
^b Kushner	$TBW = 0,590 H^2/R + 0,065 Wt + 0,040$
^c Lukaski	$TBW = 0,377 H^2/R + 0,140 Wt - 0,080 Edad + 2,90 Sexo + 4,65$
^d Lukaski	$FFM = 0,756 H^2/R + 0,110Wt + 0,107 Xc - 5,463$
^e Gray	$FFM = 0,00108 H^2 - 0,02090 R + 0,23199 Wt - 0,6777 Edad + 14,59753, Femenino$ $FFM = 0,00132 H^2 - 0,04394 R + 0,30520 Wt - 0,16760 Edad + 22,66827, Masculino$
^f Heitman	$FFM = 0,279 H^2/R + 0,181 Wt + 0,231 H + 0,064 Sexo WT - 0,0777 Edad - 14,94$
^g Deurenberg	$FFM = 0,34 \cdot 10^4 H^2(m)/R + 15,34 H + 0,273 Wt - 0,127 Edad + 4,56 Sexo - 12,44$
^h Stolarczyk	$FFM = 0,001254 H^2 - 0,04904 R + 0,1555 Wt + 0,1417 Xc - 0,0833 Edad + 20,05$

TBW= agua corporal total , FFM = masa libre de grasa, FM = masa grasa.

H = estatura, Wt = peso corporal, R= Resistencia, Xc = Reactancia.

^aKushner³¹, ^bKushner¹⁰, ^cLukaski⁹, ^dLukaski⁸, ^eGray³², ^fHeitman³³, ^gDeurenberg³⁴, ^hStolarczyk³⁵

Tabla 5. Ecuaciones para adultos recomendadas en la literatura por su exactitud y rigurosidad de validación contra métodos de referencia

Fuente: Referencia 15

BIA vectorial

En este modelo, los valores de resistencia "R" y reactancia "Xc" son utilizados para construir un vector que es confrontado gráficamente (Grafo RXc) con la distribución de vectores de la población sana de referencia.

3.5 Equipos

El desarrollo del BIA ha llevado consigo el desarrollo paralelo de una amplia gama de equipos de impedancia. Decidir entre uno u otro, es una tarea que no siempre es fácil debido entre otras cosas a la poca información disponible sobre las características técnicas de los mismos y a la abundante manipulación comercial que se le ha dado a sus ventajas. Los sistemas convencionales, mano-pie, requieren 4 electrodos recubiertos de un gel conductor y que el paciente repose echado en una camilla por lo menos 15 min; no obstante, han aparecido en el mercado sistemas pie-pie o pierna-pierna que sólo requieren que el sujeto se ponga de pie sobre una balanza para que la máquina pueda efectuar la medición del agua corporal total y la impedancia. Cabe mencionar que estos equipos sólo miden la impedancia de las extremidades inferiores, que aunque contribuyen con un tercio del agua corporal, en comparación con el 10-20% del tronco, no representan la totalidad del agua corporal.

La mayor parte de los estudios, en los cuales se han comparado los resultados del BIA pie-pie con métodos de referencia como la hidrodensitometría o la absorciometría dual de rayos X (DEXA), han mostrado errores bajos y aceptables cuando se han empleado en estudios en grandes grupos poblacionales, aunque también han mostrado errores individuales muy altos, especialmente para detectar el porcentaje de masa magra. Lasser S (16) desarrollaron un estudio para determinar la precisión de los equipos de biomedancia pie-pie (balanza Tanita) comparados con equipos de bioimpedancia mano-pie y DEXA en la valoración de la composición corporal de adolescentes con sobrepeso y obesidad. El estudio fue llevado a cabo en 53 adolescentes con sobrepeso u obesidad. El estudio concluyó que los equipos pie-pie muestran resultados aceptables cuando son empleados en estudios de grupos poblacionales, pero muestran un gran

margen de error para determinaciones individuales, lo cual es congruente con otros estudios revisados (goldfield, boneva).

4. Resultados obtenidos a partir del BIA**4.1 Relacionados con la composición somática****Masa magra (Fat free mass)**

La masa magra está integrada por todos los componentes corporales excepto la grasa (triglicéridos); forman parte de la masa magra los músculos, los órganos vitales, los huesos, los sólidos extracelulares, entre otros. La masa magra es el segmento del cuerpo que se alimenta del 100% de la energía ingerida por la persona; el excedente de energía no utilizada pasa a formar parte del almacén corporal.

Masa grasa (Fat Mass)

Representa el almacén corporal de energía. Bajo condiciones de ayuno, el cuerpo puede disponer de hasta el 75% de estos almacenes. Una disminución considerable del contenido de grasa corporal de una persona puede estar asociada con una ingesta calórica deficiente durante un periodo prolongado de tiempo. Bajo condiciones normales, el cálculo del peso adecuado para un adulto promedio se obtiene a partir de las correcciones que se pueden hacer a su contenido de grasa corporal. Cabe mencionar, que el exceso de energía consumido a partir de los macronutrientes se almacena principalmente como grasa, aunque las vías metabólicas que llevan a la conversión de esos excedentes en grasa no es tan simple y sencillo como se podría suponer.

Masa celular corporal (Body Cell Mass - BCM)

La masa celular corporal es el comportamiento humano más metabólicamente activo, siendo sus fracciones principales los componentes celulares de los músculos y vísceras. La valoración y cuantificación de la masa celular corporal es particularmente importante debido a que su disminución está fuertemente asociada con el incremento de la morbimortalidad. La BCM también es útil para la determinación de requerimientos nutricionales en personas sanas como en enfermas. La ecuación de Harris Benedict (HB), por ejemplo, fue derivada a partir de datos de calorimetría indirecta obtenidos en 239 sujetos normales

con elevada variabilidad en la edad algo que se refleja en la elevada tasa de error que muestran los resultados de la aplicación de la ecuación, entre 14 y 25%. Dado que la TMR está directamente relacionada con el tamaño de la BCM y es independiente de la edad y sexo, se puede decir que la inclusión de la talla, el peso, la edad y el sexo en la fórmula, buscan explicar la relación que existe entre el peso corporal y la BCM. Cuando la ecuación de HB es usada para determinar la TMR de sujetos malnutridos presenta un amplio margen de error (17), por lo que el cálculo de la TMR se puede hacer en función de la BCM.

Masa Extracelular (Extracellular Mass - ECM)

La masa extracelular contiene los componentes

metabólicamente inactivos que se encuentran fuera de las células. Estos componentes son relativamente estables y demandan, para su síntesis, el 25% de la energía consumida por persona. Entre los componentes de la ECM podemos encontrar fibras conjuntiva, colágenas, entre otras.

Relación ECM/BCM

Esta relación es altamente sensible para detectar malnutrición. Normalmente, los valores deben ser inferiores a 1.0 (tabla 6), lo cual indicaría que la proporción de masa metabólicamente activa es mayor a la masa metabólicamente inactiva, mientras que valores mayores 1.0 indicarían una contracción de la masa metabólicamente activa.

ECM/BCM	Clasificación nutricional
<0.70	Propio de atletas de alta competencia
0.89-0.70	Buen estado nutricional y condición física
0.90-0.99	Suministro adecuado de nutrientes con actividad física regular
1.0-1.09	Suministro básico de nutrientes más actividad física moderada
1.10-1.19	Propio de personas de edad media con una nutrición y actividad física pobre
1.20-1.29	Estado nutricional insatisfactorio típico de pacientes adulto mayores con ingesta dietaria limitada y enfermedad
1.30-1.39	Mal estado de nutrición que amerita asistencia nutricional inmediata
>1.40	Solo en caso de grandes edemas y/o catabolismo

Tabla 6. Valores referenciales para la relación ECM/BCM
Fuente: Referencia 18

En la tabla 7 se puede observar una proyección que recoge los cambios probables en los valores porcentuales de la BCM y la ECM. Se encuentran resaltados en negro los valores relacionados con tres estados básicos: aquel de un deportista de elite, 0.70; aquel que

muestra una proporcionalidad ideal, 0.82; y aquel que muestra la proporcionalidad de la mayoría de la población, 1.00. Debe notarse en todos los casos que la disminución de la BCM está asociada con valores más altos de la relación.

BCM	ECM	ECM/BCM
58	41	0.71
57	42	0.74
56	44	0.79
55	45	0.82
54	46	0.85
53	47	0.89
52	48	0.92
51	49	0.96
50	50	1.00
49	51	1.04
48	52	1.08
45	55	1.22

Tabla 7. Proyección de cambios en los valores de BCM y ECM

Relación BCM/talla² (BCM/talla²)

La BCM puede ser estimada en la práctica clínica para valorar el estado nutricional, por ejemplo, en pacientes con anorexia nervosa. La interpretación de los datos, especialmente en pacientes más jóvenes quienes todavía se encuentran en crecimiento requiere ajustar la talla. En las mujeres de peso normal, la relación entre la talla y el BCM es consistente con las relaciones previas reportadas entre la talla y la masa magra. Aunque la consistencia de la relación entre BCM y masa magra disminuye cuando se incrementa la pérdida de peso, la relación entre la talla y la BCM no es significativamente diferente entre las mujeres de peso normal y las mujeres de bajo peso. El índice BCM/talla² es fácil de calcular y aplicable tanto a mujeres saludables como con bajo peso (19)

Muscular mass (masa muscular)

Representa el peso de la mayoría de músculos y los órganos vitales. Es necesario tener en cuenta que el músculo es mucho más pesado que la grasa, por lo tanto, esto ayuda a explicar porque a menudo la gente que pierde peso

frecuentemente alcanza una meseta, lo cual, puede ser consecutivo a una pérdida sostenida de grasa acompañada de una ganancia de músculo lo que genera que ambos procesos se cancelen uno a otro con respecto al peso.

4.2. Relacionados con la volumetría corporal

Agua corporal total (Total Body Water), Agua extracelular, agua intracelular.

El agua corporal total representa el solvente básico en el cual ocurren todos los procesos vitales, representando el compuesto químico más abundante del cuerpo humano (40-60%). Este compartimiento juega un rol central en la regulación del volumen celular, transporte de nutrientes, remoción de desechos y regulación térmica. En individuos sanos el volumen total está bien regulado, distribuyéndose en agua intracelular y extracelular. En el modelo más simple de composición corporal, el cuerpo está compuesto de masa grasa y masa libre de grasa. El agua se encuentra exclusivamente en la masa libre de grasa, ya que la grasa es anhidra. Este hecho permite determinar ambos compartimientos a partir de la medición del agua corporal total (20) (tabla 8)

Grupo etáreo	% del agua corporal total
Recién nacido-6 meses	74 (64-84)
6 meses-1 año	60(57-64)
1-12 años	60 (49-75)
12-18 años (varones)	59 (52-66)
12-18 años (mujeres)	56 (49-63)
19-50 años (varones)	59 (43-73)
19-50 años (mujeres)	50 (41-50)
> 50 años (varones)	56 (47-67)
> 50 años (mujeres)	47 (39-57)

Tabla 8. Agua corporal según grupo etáreo
Fuente: Referencia 21

La medición del agua corporal puede ser útil para explicar la rápida ganancia o pérdida de peso. Existen muchas dietas que engañan a las personas que quieren bajar peso cuando en realidad, lo único que hacen es hacerles perder agua. Estas prácticas son absolutamente contraindicadas debido a que pueden generar cambios dramáticos en el peso, solo para recuperarlo un tiempo después. Pequeños

cambios en el agua corporal total pueden producir cambios medibles en el peso corporal, por lo tanto, la valoración del agua corporal constituye un elemento central en la medición de la composición corporal.

El agua se encuentra distribuida en dos compartimientos: el extracelular y el intracelular. El compartimiento extracelular se divide a su vez

en: líquido intersticial y plasma sanguíneo. Existe otro pequeño compartimento de líquido que se denomina compartimento transcelular. Este compartimento comprende el líquido de los espacios sinovial, peritoneal, pericárdico e intracelular, así como el líquido cefalorraquídeo;

suele considerarse como un tipo especializado de líquido extracelular, aunque en algunos casos su composición puede diferir de forma acentuada de la del plasma o de la del líquido intersticial. Todos los líquidos transcelulares constituyen alrededor de 1 a 2 litros (tabla 9)

Nivel	Compartimento	Porcentaje del Agua Corporal total
Molecular	Agua total	100
Celular	Intracelular	57%
	Extracelular	43%
Tejidos	Intracelular	57%
	Plasma	7%
	Intersticial	20%
	Hueso	7%
	Tejido conectivo denso	7%
	Transcelular	4%

Tabla 9. Distribución del agua corporal total

Relación extracelular/intracelular

En sujetos saludables estos dos compartimentos son fuertemente regulados. No obstante, dentro de una gran variedad de condiciones patológicas, se produce una acumulación de fluidos en el espacio extracelular que resulta en edema. En pacientes con hemodiálisis, por ejemplo, valores del líquido extracelular mayores al 44%, pueden ser considerados como sobrehidratación y menores de 35% como subhidratación.

Fluidos extracelulares

Los fluidos extracelulares representan el agua más los electrolitos extracelulares. Los valores de los fluidos extracelulares fluctúan paralelos a los cambios en los valores del agua extracelular.

Fluidos intersticiales

El fluido intersticial también conocido como fluido de los tejidos es la presencia de un líquido acuoso en los pequeños espacios entre las células corporales. Los fluidos intersticiales representan una parte de los fluidos extracelulares. Un aumento de este compartimento es indicativo de la presencia de

edema. Los fluidos intersticiales representan en promedio el 25% del agua corporal total.

Fluidos plasmático (intravascular)

Constituye el fluido presente en el espacio intravascular. Explica en promedio el 8% del agua corporal total.

Sólidos extracelulares

Los sólidos extracelulares representan los componentes orgánicos e inorgánicos presentes en el espacio extracelular, sin incluir el agua. Equivalen al 14% del agua corporal total.

4.3 Relacionados con la bioquímica corporal

Masa protéica

En términos de composición corporal, el término proteínas incluye casi todos los compuestos nitrogenados desde aminoácidos hasta nucleoproteínas. El contenido de proteínas del promedio de células es de alrededor del 16% de su masa total, aunque pueden haber variaciones considerables en el cerebro, donde sólo representan el 10% o las

células rojas de la sangre donde representan el 20%. En el músculo forman el 65% de la masa celular. En términos globales la masa magra contiene un 20% de proteínas.

Masa mineral

La masa mineral está dividida en dos categorías, la ósea y la extraósea. El componente óseo es el más grande, mientras que el componente extraóseo es mucho más pequeño. La masa mineral es equivalente al 6% del peso de la masa magra.

Calcio corporal total

Los 1400 g de calcio promedio presentes en el cuerpo lo convierten en el mineral más abundante, representando entre 1.5 a 2% del peso corporal de una persona.

Potasio corporal total

El potasio corporal es el principal catión intracelular. Su contenido puede relacionarse con el contenido muscular de la persona.

Glucógeno

Es un polisacárido almacenado en pequeña cantidad tanto en el músculo como en el hígado.

4.4 Relacionados con la función renal

Clearance de creatinina

Bajo condiciones estables, la creatinina es producida por las células musculares a una tasa constante, entra al plasma y es excretada exclusivamente por los riñones. La masa muscular es el principal constituyente de la BCM. Existe una fuerte correlación entre la excreción de creatinina urinaria y el valor de la BCM, de modo que es posible predecir el clearance de creatinina a partir de los valores de BCM y creatinina plasmática evitando así, la necesidad de recolectar orina por 24h.

Filtración glomerular

La tasa de filtración glomerular es un factor importante de la función renal. Es una tasa a la cual el riñón puede eliminar los desechos de los riñones. Midiendo ciertos componentes de la sangre, se puede aproximar la tasa de filtración glomerular de una persona.

Peso seco

Indica el peso libre de retención de líquidos, no obstante, para poder obtener es necesario conocer el valor de filtración glomerular.

5. Conclusiones

El peso corporal es sin lugar a dudas una de las medidas antropométricas más utilizadas en la práctica clínica tanto médica como nutricional. No obstante su amplia difusión, el peso es también, una de las medidas que mayor error puede introducir a cualquier sistema de evaluación asociado con él.

El término composición corporal debe entenderse como una manera de describir la forma en la que está constituido el ser humano y el modo en que estos componentes pueden interactuar a lo largo de su ciclo biológico tanto en la salud como en la enfermedad

El cuerpo humano posee más de 30 componentes o compartimientos que se pueden distribuir en 5 niveles jerárquicos de organización que van desde el más elemental al más complejo; estos niveles son: atómico, molecular, celular, tisular y global

Probablemente el método más preciso para evaluar la composición corporal sea la disección; no obstante, en la práctica esto es imposible de llevar a cabo en personas vivas. Por esta razón la mayor parte de métodos pueden agruparse en dos categorías (existen muchas más en función del principio utilizado para la categorización): métodos mecánicos y métodos descriptivos

El BIA se basa en la respuesta que los tejidos biológicos presentan al paso de una corriente eléctrica alterna de baja intensidad. El físico francés Thomasset introdujo este concepto en la década de los 60, estableciendo que existe una fuerte asociación entre el agua total del cuerpo y la impedancia eléctrica

Los electrodos utilizados en el BIA se pueden colocar en configuración estándar o segmental. Los equipos utilizados pueden ser mono y multifrecuencia.

Los equipos especializados de impedancia pueden proporcionar más de 25 resultados relacionados con la composición corporal del cuerpo.

Referencias bibliográficas

1. Santana, S. Espinosa A. Composición corporal. *Acta Médica*. 2003;11(1):26-37
2. Casanova, R. Técnicas de valoración del estado nutricional. *VOX PAEDIATRICA*, 11,1 (26-35), 2003.
3. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five models: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr* 1992; 56: 19-28.
4. Pietrobelli A, Heymsfield SB, Wang ZM, Gallagher D. Multi-component body composition models: recent advances and future directions. *Eur J Clin Nutr* 2001;55:69-75.
5. Pietrobelli A, Heymsfield SB. Establishing body composition in obesity. *J Endocrinol Invest* 2002;25:884-892.
6. Pietrobelli A, Wang ZM, Heymsfield SB. Techniques used in measuring human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1998; 1: 439-448.
7. Girolami
8. Gallagher D, Visser M, De Meersman RE, Sepúlveda D, Baumgartner RN, Pierson RN, Harris T, Heymsfield SB. Appendicular skeletal muscle mass: effects of age, gender, and ethnicity. *J Appl Physiol* 1997;83:229-39.
9. Cruz R. Fundamentos de la nutrioterapia. 1ª edición. Lima, 2007.
10. Lapuente J. Amaya F. Muñoz S. La importancia de la composición corporal en Anti-aging. Sumario 46. *Medicina Antienviejecimiento*.
11. Grimnes S, Martinsen ØG: *Bioimpedance and bioelectricity basics*. London, Academic Press, 2000.
12. Lukaski HC: Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 64: 397S-404S, 1996.
13. Kushner RF: Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *J Am Coll Nutr* 11: 199-209, 1992.
14. Foster KF, Lukaski HC: Whole-body impedance - what does it measure? *Am J Clin Nutr* 64: 388S-396S, 1996.
15. Piccoli A, Nescolarde L, Rosell J. Análisis convencional y vectorial de bioimpedancia en la práctica clínica. *Nefrología*. Vol. XXII. Número 3. 2002.
16. Lazzer S, Boirie Y, Meyer M, Vermorel M. Evaluation of two foot-to-foot bioelectrical impedance analysers to assess body composition in overweight and obese adolescents. *BJN* (2003), 90, 987-992.
17. Roza A, Shizgal H. The Harris Benedict equation reevaluated: resting energy requirements and the body cell mass. *AJCN*. 1984;40:168-182
18. Maltron It. Technical papers. London 2009.
19. Wells J, Murphy A, Buntain H, Greer R, Cleghorn G, Davies P. Adjusting body cell mass for size in women of different nutritional status. *AJCN*, 2004;80:333-336
20. Azócar P. Marta, Cano Sch. Francisco, Marín B. Verónica, Díaz B. Erik, Salazar R. Gabriela, Vásquez F. Loreta. Estimación del agua corporal total por deuterio en diálisis peritoneal pediátrica. *Rev. chil. pediatr.* [revista en la Internet]. 2003 Sep [citado 2010 Nov 19]; 74(5): 504-510. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-41062003000500007&lng=es. doi: 10.4067/S0370-41062003000500007.
21. Grandjean A, Campbell S. Hidratación: Líquidos para la vida. ILSI Norteamérica/ILSI de México, A.C. 2004