

Presente y futuro de la bioimpedancia en la enfermedad renal

Secundino Cigarrán Guldri^{1,2}

¹Servicio de Nefrología. Hospital Ribera Polusa. Lugo

²Research Net RICORS 2030. Instituto de Salud Carlos III (ISCIII). Madrid

NefroPlus 2025;17(1):37-45

© 2025 Sociedad Española de Nefrología. Servicios de edición de Elsevier España S.L.U.

RESUMEN

La medición de la composición corporal (CC) desempeña un papel importante en el diagnóstico y tratamiento nutricional de enfermedades tanto agudas como crónicas. En los últimos 30 años, la detección de la CC mediante análisis de impedancia bioeléctrica (BIA) se ha utilizado y explorado ampliamente en diversas enfermedades. Con el desarrollo de la tecnología, el análisis de impedancia bioeléctrica ha evolucionado gradualmente desde el BIA de frecuencia única (SF-BIA) hasta el BIA multifrecuencia (BIA multifrecuencia, MF-BIA) y en un rango de frecuencias (espectroscopia de bioimpedancia, BIS). A medida que la importancia clínica del manejo nutricional en la enfermedad renal crónica (ERC) ha cobrado mayor relevancia, la medición de la CC mediante BIA se ha visto favorecida por nefrólogos y nutricionistas. En los últimos 20 años se han realizado numerosos estudios sobre la aplicación del BIA en pacientes con ERC. Esta revisión describe y resume los últimos resultados de investigación sobre la BIA en el manejo nutricional de pacientes con ERC con el fin de proporcionar una referencia para la aplicación e investigación de la BIA en el manejo nutricional de la enfermedad renal crónica en el futuro.

Palabras clave: Bioimpedancia. Nutrición. Composición corporal. Enfermedad renal crónica.

Present and future of bioimpedance in kidney disease

ABSTRACT

Body composition measurement plays an important role in the diagnosis and nutritional treatment of both acute and chronic diseases. Over the past 30 years, body composition detection using bioelectrical impedance analysis (BIA) has been widely used and explored in various diseases. With the development of technology, bioelectrical impedance analysis has gradually evolved from single-frequency BIA (SF-BIA) to multi-frequency BIA (multi-frequency BIA, MF-BIA) and across a range of frequencies (bioimpedance spectroscopy, BIS). As the clinical importance of nutritional management in chronic kidney disease has become increasingly relevant, body composition measurement using BIA has been favoured by nephrologists and nutritionists. Over the past 20 years, numerous studies have been conducted on the application of BIA in patients with CKD.

This review describes and summarizes the latest research results on BIA in the nutritional management of CKD patients in order to provide a reference for the application and research of BIA in the nutritional management of chronic kidney disease in the future.

Keywords: Bioimpedance. Nutrition. Body Composition. Chronic kidney disease.

Correspondencia: Secundino Cigarrán Guldri

Servicio de Nefrología.

Hoaspital Ribera Polusa.

Rúa Iglesias Otero, s/n. 27004 Lugo

scigarran@riberacare.com

Revisión por expertos bajo la responsabilidad de la Sociedad Española de Nefrología.

INTRODUCCIÓN

La impedancia bioeléctrica (BIA) se ha desarrollado en los últimos años para evaluar la composición corporal (CC) en pacientes nefrológicos¹. Las mediciones se comparan con técnicas de referencia, como energía dual, absorciometría de rayos X de doble energía (DXA) y tomografía computarizada (TC), para crear ecuaciones de regresión².

Por tanto, constituye un método validado con una excelente correlación en la evaluación del estado de hidratación con el método de referencia de Deuterio ($r = 0,960$), con el estado nutricional validado con ⁴⁰K ($r = 0,980$), masa libre de grasa (MLG) con densitometría ($r = 0,979$) y que, por tanto, es superponible a la realización de las técnicas estándar. El método tetrapolar fue validado por Kushner et al. en 1986 y ha sido objeto de una amplia revisión y actualización por parte del mismo autor, así como su interpretación³⁻⁵.

Con el desarrollo de la tecnología de impedancia bioeléctrica, la BIA ha evolucionado gradualmente desde la BIA de frecuencia única (SF-BIA) hasta la BIA de doble frecuencia (DF-BIA). Actualmente, existen dispositivos que miden a múltiples frecuencias fijas (BIA multifrecuencia, MF-BIA) y en un rango de frecuencias (espectroscopia de impedancia bioeléctrica, BIS). Los diferentes analizadores pueden utilizar diferentes modelos y ecuaciones de correlación. La MF-BIA y la BIS utilizan principalmente corrientes de alta frecuencia (>50 Hz) a través de la membrana celular para medir el agua intracelular y corrientes de baja frecuencia (50 Hz) miden principalmente el agua extracelular. La MF-BIA mide la resistencia a diferentes frecuencias y la incorpora a un modelo de regresión lineal empírico para obtener valores numéricos de la CC. BIS utiliza modelos matemáticos y ecuaciones mixtas, como la fórmula de Cole-Cole y la fórmula de Hanai, para derivar la relación entre la resistencia y los compartimentos de líquidos para evaluar la CC⁶. Las técnicas MF-BIA expresan habitualmente la CC como un modelo bicompartimental (2-C), que distingue la masa grasa (MG) de la masa libre de grasa (MLG), la cual puede verse influida por la sobrehidratación (SO). Hace aproximadamente una década se introdujo un modelo tricompartmental (3-C) que distinguía la SO, la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG)⁷. Tanto el modelo 2-C como el 3-C se utilizan actualmente en estudios clínicos. Si bien la precisión de la medición de la CC mediante BIA aún es cuestionada, su uso sigue siendo amplio en la investigación clínica y científica, y numerosos estudios han confirmado su relevancia en el manejo nutricional y el pronóstico de enfermedades⁸.

En nuestra especialidad ha destacado gradualmente la importancia clínica del manejo nutricional en la enfermedad renal crónica (ERC)⁹. El análisis de la CC mediante BIA constituye el método auxiliar preferido por nefrólogos y nutricionistas para el diagnóstico, tratamiento y seguimiento nutricional¹⁰.

En las últimas décadas se han realizado numerosos estudios sobre la aplicación de la BIA en el manejo nutricional de pacientes con ERC, divididos principalmente en varios aspectos: comparación entre la BIA y otras mediciones de CC como la DXA;

cambios en la CC en diferentes estadios de la ERC; implicaciones de los cambios en la CC, y el poder predictivo de los cambios relacionados con la CC para el pronóstico de la enfermedad. Los cambios en los indicadores de CC detectados por BIA en pacientes con ERC se concentraron principalmente en el tejido magro, la grasa, el ángulo de fase y el agua corporal.

Esta revisión actualiza principalmente los últimos resultados de la investigación de BIA en el manejo nutricional de pacientes con ERC en los cuatro aspectos mencionados.

FUNDAMENTOS DE LA IMPEDANCIA BIOELÉCTRICA

Hace 100 años, el estudio de las interacciones bioquímicas celulares se convirtió en el paradigma dominante usado para explicar las funciones celulares y la progresión de la enfermedad. Las células normales poseen la capacidad de comunicar información dentro de sí mismas y entre otras células¹¹. Todas las células vivas sanas tienen un potencial de membrana, aproximadamente, de -60 a -100 mV. El signo negativo del potencial de membrana indica que la superficie interna de la membrana celular es relativamente más negativa que la superficie exterior inmediata⁶. En una célula sana, la superficie interna de la membrana celular es ligeramente negativa en relación con la superficie externa¹¹. Si consideramos el potencial transmembrana de una célula sana, el campo eléctrico a través de la membrana celular es enorme y puede alcanzar entre 10.000.000 y 20.000.000 V/m^{12,13}.

Entre las propiedades eléctricas celulares está la capacidad de conducir electricidad, crear campos eléctricos, funcionar como generadores eléctricos y baterías. En el organismo, la electricidad es conducida por transportadores móviles de carga, así como por electrones y por la facilidad conductora de los tejidos¹⁴. La membrana celular constituye una barrera dieléctrica que permite selectivamente el paso de electrones. Esto significa que cualquier condición, enfermedad o cambio en la ingesta dietética que afecte a la composición de las membranas celulares y sus minerales asociados puede afectar y alterar la capacidad de almacenar la electricidad¹⁵.

El límite exterior de la célula es una membrana plasmática de moléculas de fosfolípidos, que se convierten en un dieléctrico para formar un condensador eléctrico cuando se introduce una señal de radiofrecuencia en el entorno celular a modo de condensador eléctrico en paralelo con una resistencia¹⁵. La reactancia valora el volumen intracelular y la resistencia valora el volumen extracelular (fig. 1).

El uso de BIA como método a pie de cama ha aumentado porque el analizador es portátil, seguro, el procedimiento es simple y no invasivo, y los resultados se obtienen de forma rápida, son reproducibles y no dependen del observador.

Un circuito eléctrico de corriente alterna está definido por cuatro parámetros: intensidad, voltaje, impedancia y frecuencia de alternancia. La impedancia expresa la oposición del circuito al paso de la corriente y su unidad de medida es el ohmio (Ω). La unidad de medida de la intensidad es el amperio, la del voltaje es el voltio y

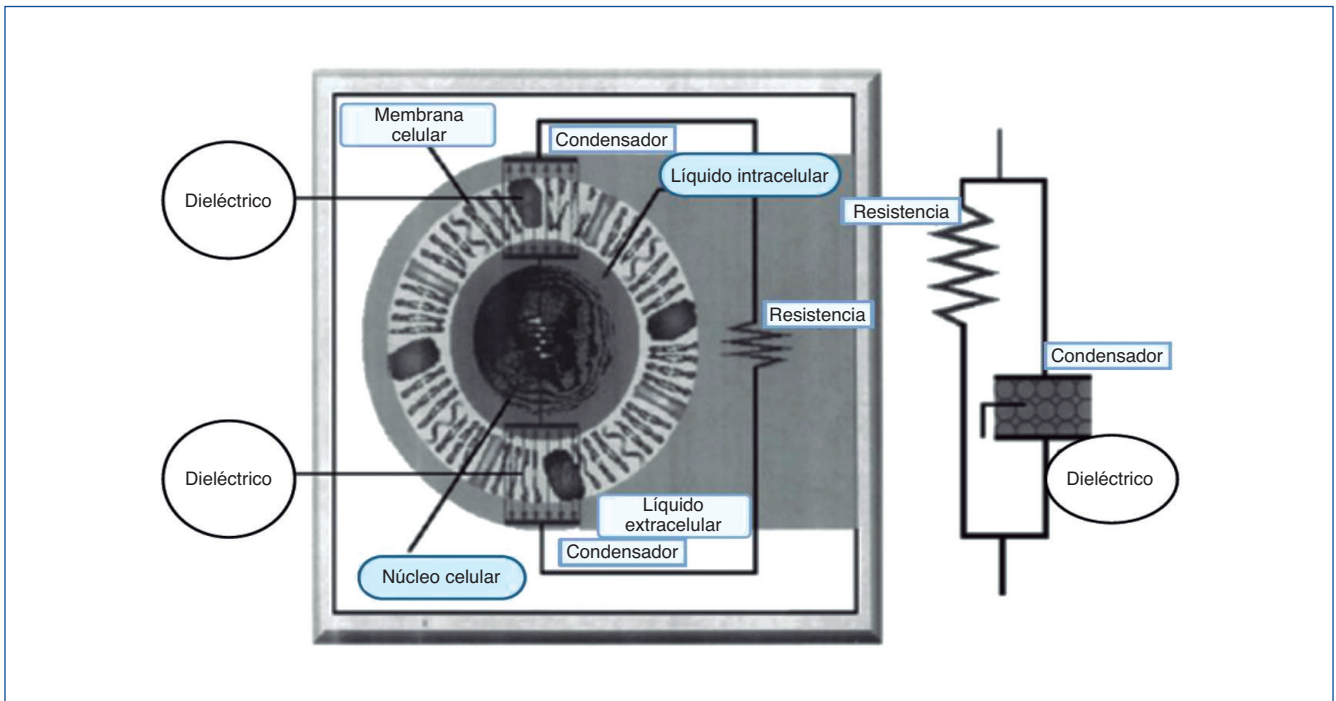


Figura 1. La célula es un condensador eléctrico en paralelo con una resistencia. (<https://biorender.com/ftwds59>.)

la de la frecuencia es el hercio (Hz; ciclos por segundo). La ley de Ohm establece: impedancia = voltaje/intensidad¹⁶.

Desde el punto de vista eléctrico, el organismo se comporta como un cilindro o suma de cilindros conductores (fig. 2). La BIA se basa en la oposición que cualquier tejido presenta al paso de una corriente eléctrica alterna, que habitualmente se emite y se recibe en los extremos de los cilindros, es decir, en la muñeca y en el tobillo indistintamente.

El componente de la impedancia (Z) depende de la conductividad del medio y se denomina resistencia (R). El componente

debido a la acción de los condensadores recibe el nombre de reactancia (Xc) (fig. 3). Su ecuación es:

$$(Z)^2 = (R)^2 + (Xc)^2$$

La R evalúa el paso de la corriente en función del contenido de agua, que es un excelente conductor, de tal modo que, cuanto mayor es su contenido, menor es la R y viceversa.

La Xc refleja el efecto aislante de las membranas celulares, que se comportan como condensadores que se cargan y descargan al paso de la corriente.

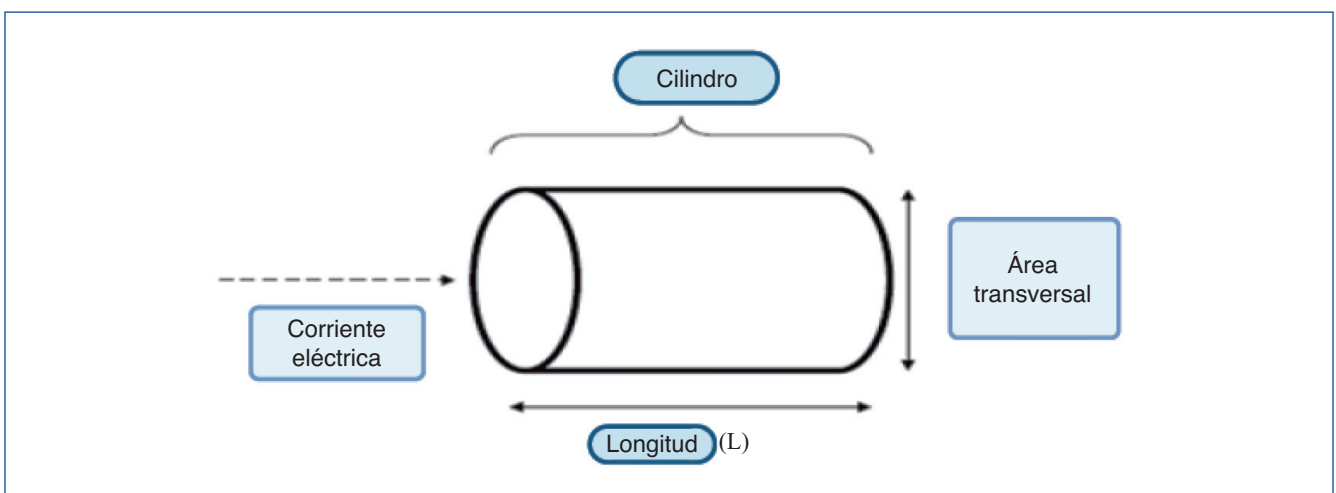


Figura 2. Fundamentos de la bioimpedancia vectorial o BIVA. Cilindro conductor. (<https://biorender.com/ftwds59>.)

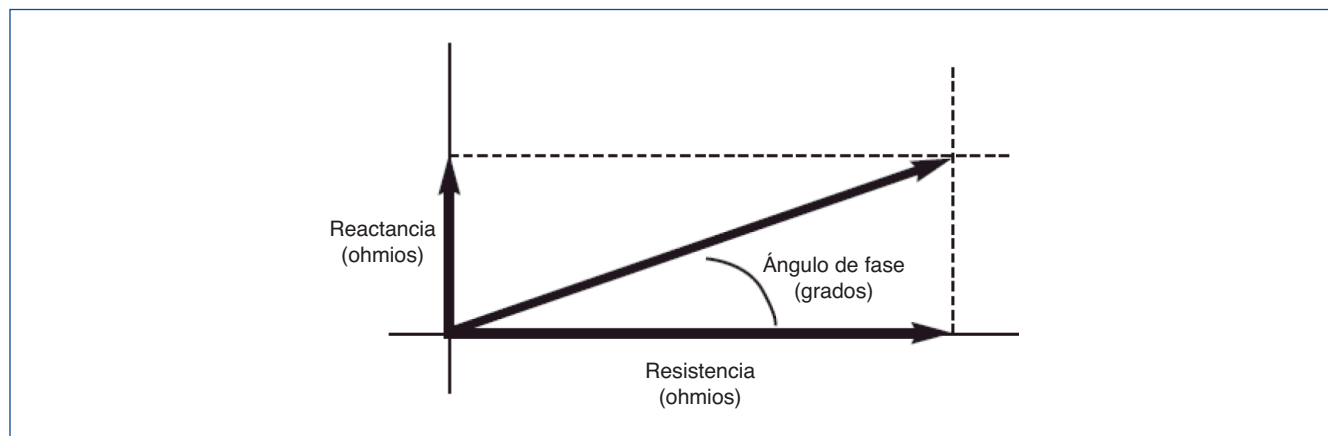


Figura 3. Fundamentos de la impedancia bioeléctrica. Relación entre resistencia, reactancia y ángulo de fase.

El comportamiento de un circuito de corriente alterna está definido por dos ondas que tienen distinta amplitud, pero la misma frecuencia: la onda de intensidad y la onda de voltaje. Si coinciden los picos de ambas ondas, se afirma que la intensidad está en fase con el voltaje. En el caso de existencia de condensadores, la carga y descarga de estos provoca un retraso de la onda del voltaje respecto a la onda de intensidad y se afirma que la corriente está desfasada. Este desfase se expresa en forma de ángulo y se denomina ángulo de fase (AF) (ϕ).

$$AF^\circ = \arctang Xc/R.$$

Tiene una relación positiva con la reactancia (AI) y negativa con la resistencia (AE)¹⁶⁻¹⁹.

El paso de una corriente alterna a través del cuerpo se realizará a través de los compartimentos de líquido extracelular e intracelular en una proporción determinada por la frecuencia de la corriente y las características eléctricas de los tejidos. La vía ex-

tracelular generalmente se considera puramente resistiva, mientras que el paso a través de las membranas celulares que actúan como condensadores eléctricos imperfectos proporcionan un componente reactivo (Xc)²⁰.

Así pues, conocidas la altura, el peso, la edad, el sexo, la resistencia, la reactancia y el ángulo de fase, nos permiten determinar el agua total (AT), el agua extracelular (EC) e intracelular (IC), la masa celular (MC), el músculo (MM) y la grasa (MG).

Compartimentos corporales

La MLG la componen el AT, masa celular y minerales óseos (fig. 4).

El AT constituye aproximadamente el 55-65% del peso corporal, variando un poco con la edad, sexo y cantidad de grasa corporal, y, por tanto, constituye el mayor componente del cuerpo. Se distribuye entre el agua intracelular (AI) y los compartimentos del agua extracelular (AE). Las estimaciones de la cuantía relativa de

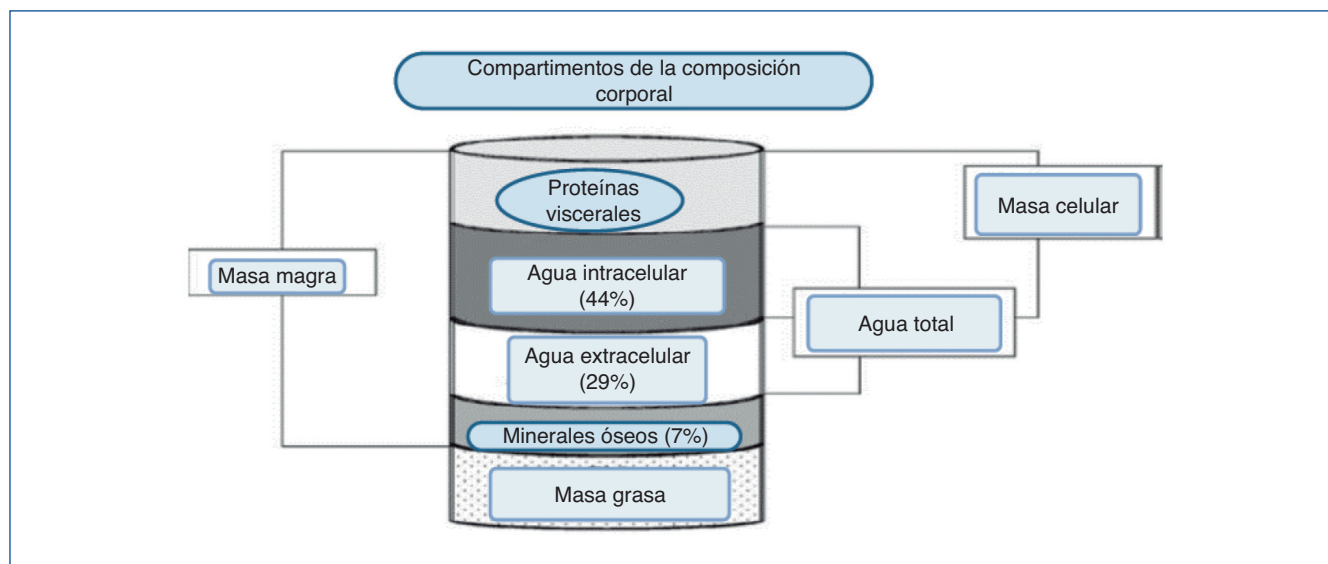


Figura 4. Diagrama esquemático bicompartimental: masa libre de grasa, agua total, agua intracelular, agua extracelular y masa celular. (<https://biorender.com/ftwds59>.)

estos dos compartimentos importantes difieren significativamente según el trazador utilizado para medir el AE, pero la mayoría de los estudios en animales y el ser humano han sugerido que el 55-65% (o poco menos de 2/3) de AT reside en la AI y el 35-45% (o un poco más de 1/3) está en el AE. Aproximadamente, 3/4 del compartimento de la AE es líquido intersticial (170 ml/kg) y 1/4 es intravascular (volumen sanguíneo).

Por ello conceptualizamos:

MLG: constituye todo lo que no es grasa. Está formada por minerales óseos, AT y MC.

MG: peso – MLG.

MC: es el compartimento rico en proteínas que se ve afectado en estados catabólicos. Se asocia con peor evolución clínica.

AF: es un indicador de integridad celular. Se considera el marcador de la salud celular con múltiples aplicaciones^{21,22}.

AT: su medida se obtiene de la razón de la estatura (H) al cuadrado a R (índice de impedancia, H²/Z o índice de resistencia H²/R) al que se aplican otras variables añadidas para aumentar la precisión de la regresión.

AI: agua intracelular.

AE: agua extracelular.

MM: masa muscular²³.

Metabolismo basal: derivado de la masa muscular.

Na-K ic: Na-K intercambiable.

Tabla 1. Valores de referencia de los parámetros de la bioimpedancia

Parámetro	Rango
Ángulo de fase (°)	3,4-5,8°
Na-K intercambiable	0,9-1
Índice de masa celular	7,5-15
Masa celular (%)	> 40% del peso
Masa libre de grasa (%)	57,5-68,8% del peso
Masa muscular (%)	> 40%
Masa grasa (%)	31,2-42,5%
Agua total (%)	46-57%
Agua extracelular (%)	42-53%
Agua intracelular (%)	58-47%
Agua total (%) / masa libre de grasa (%)	≤ 78%
Líquido intersticial (ml/kg)	< 170 ml/kg
Vector resistencia (ohm/m)	368 ± 43,5
Vector reactancia (ohm/m)	37,6 ± 5,2

PARÁMETROS RELEVANTES DERIVADOS DE LA IMPEDANCIA BIOELÉCTRICA EN LA PRÁCTICA CLÍNICA

Los parámetros de importancia clínica derivados de la bioimpedancia vectorial (BIVA) son el ángulo de fase (AF), el intercambio celular Na-K (Na-K ic) y la masa celular (MC).

Ángulo de fase (AF)

El AF es un indicador de la salud, integridad e hidratación celular. Dado que la inflamación y el estrés oxidativo pueden dañar las estructuras celulares, el AF tiene una utilidad en la detección precoz del estado inflamatorio y oxidativo²⁴. El AF en ERC es menor que el de las personas sanas²⁴. También representa la distribución del agua entre el AE y los compartimentos intracelulares²⁵. Un AF inferior a 4° sugiere daño celular, disminución de la integridad celular y deterioro de la permeabilidad selectiva de la membrana celular. En cambio, un AF de 4-6° sugiere un mayor número de membranas celulares intactas, masa celular corporal y membranas celulares sanas²⁶.

Los dispositivos de MF-BIA introducen corriente alterna en frecuencias de 1 a 1.000 kHz. Esto permite estimar el AF en cada frecuencia. La evaluación del AF en otras frecuencias mayores de 50 kHz no ha demostrado utilidad clínica en el modelo global, probablemente porque el retraso de pico de corriente a voltaje se registra entre 49 y 51 kHz²⁴.

El AF tiene correlación negativa con la inflamación, riesgo cardiovascular y los marcadores bioquímicos nutricionales^{27,28}, además de ser un marcador pronóstico de mortalidad a 10 años e inicio de terapia renal sustitutiva^{29,30}.

Masa celular (MC)

La MC es el componente metabólicamente activo de la MLG y el mejor predictor del estado nutricional de un individuo³¹. El rango normal de MC se establece en el 40 % del peso corporal saludable ideal³².

Refleja los componentes celulares del cuerpo involucrados en los procesos bioquímicos y el metabolismo energético. Incluye la parte no grasa de los tejidos, como el músculo esquelético, las vísceras, los órganos, la sangre y el cerebro. El estado nutricional, el nivel de actividad física y las enfermedades alteran la MC, que representa un biomarcador de estos procesos^{33,34}. MC y AF tienen correlación negativa con la inflamación, riesgo cardiovascular y los marcadores bioquímicos nutricionales. Además, constituye un marcador pronóstico de mortalidad a 10 años e inicio de terapia renal sustitutiva³⁰.

Intercambio Na-K

Este parámetro de la BIVA, aunque citado en varios estudios, no ha recibido atención como tal en la bibliografía desde 1987 cuando fue conceptualizado y validado en 1990³⁵⁻³⁸. Na-K ic se relaciona de forma inversa con el AF y, al igual que este, tiene

relación pronóstica y clínica que aumenta con la edad, estados de inflamación, desgaste proteico energético (DPE), sarcopenia, sobrehidratación y riesgo cardiovascular. Además, se relaciona inversamente con la MM y MLG. Respecto a los parámetros epidemiológicos, el Na-K ic aumenta con el riesgo de inicio de terapia renal sustitutiva (TRS) y de mortalidad a 10 años. Una elevación del Na-K ic por encima de 1,06 se relaciona con anemia, índice de resistencia a la eritropoyetina, marcadores inflamatorios (proteína C reactiva y fibrinógeno), nutricionales (albúmina sérica, prealbúmina e ingesta proteica), estados de sobrehidratación (AT, Al y AE)³⁰.

APLICACIONES DE LA BIOIMPEDANCIA

En la tabla 2 se exponen los diferentes analizadores utilizados en Nefrología.

Embarazo

El embarazo conduce a cambios de la CC a corto plazo. Estos incluyen aumento de peso, MG y AT (Al y AE), y varían entre mujeres³⁹. El aumento del AT durante el embarazo, a expensas del AE, contribuye al aumento de peso entre el 50 y el 70%. Específicamente, ese aumento del AT es la consecuencia de una serie de factores concomitantes (feto, placenta y líquido amniótico), sino también por la expansión del volumen plasmático, con un cambio sustancial cuando se forma el sistema cardiovascular durante el segundo trimestre. Se ha demostrado que las mujeres con preeclampsia tienen un aumento del AT respecto a las mujeres embarazadas sanas^{40,41}.

El embarazo produce un incremento del AT a expensas del AE, especialmente en los dos últimos trimestres. El Al aumenta alcanzando el máximo porcentaje al final del tercer trimestre. Estas alteraciones pueden ser explicadas por la retención de agua en algunos tejidos como mama y pelvis, con el objetivo de facilitar el trabajo del parto y el puerperio. Estos cambios son una adaptación necesaria como consecuencia de los cambios

hemodinámicos necesarios para adecuar el gasto cardiaco al desarrollo placentario y el crecimiento y desarrollo fetal⁴².

Envejecimiento

El desgaste proteico energético (DPE) aumenta con la edad, independientemente del sexo. En hospitalizados, el DPE afecta del 30 al 60% de los individuos, y alcanza el 85% en centros de atención domiciliar a largo plazo o residencias de ancianos. Se ha descrito que las mujeres son más proclives a una depleción importante. Las causas del DPE y sus consecuencias pueden reducirse implementando protocolos para la identificación precoz de las situaciones de riesgo, implementando el apoyo nutricional y las estrategias de suplementación oral.

POBLACIONES CON PATOLOGÍAS

Diabesidad (diabetes y obesidad)

La obesidad representa una grave problema de salud que afecta a un número cada vez mayor de individuos, ya no principalmente en países desarrollados, sino también en países en desarrollo, y en segmentos de la población en que hasta hace pocos años había una baja incidencia.

El uso de la BIA en la evaluación de la obesidad se validó mediante un estudio en 87 adultos con un rango de MG entre el 8,8 y el 59,0% al someterlos a BIA e hidrometría⁴³.

En 2012, la Sociedad Internacional de la Obesidad cambió la definición de obesidad basándose en el porcentaje de grasa: más del 25% entre los hombres y más del 35% entre las mujeres⁴⁴.

Inflamación

La respuesta inflamatoria implica alteraciones en el flujo sanguíneo, aumento de la permeabilidad de los vasos y paso de flui-

Tabla 2. Indicaciones y contraindicaciones de los analizadores de bioimpedancia

Tipo de bioimpedancia	Marcas	Población que puede estudiar	Contraindicaciones
Bioimpedancia multifrecuencia	InBody, Maltron	Personas sanas, pacientes con enfermedades crónicas, deportistas, mujeres embarazadas Amputados	No recomendada para personas con dispositivos electrónicos implantados, como el desfibrilador automático implantable (DAI)
Bioimpedancia espectroscópica	BCM (AF en pestaña 3)	Pacientes con enfermedad renal crónica, pacientes en diálisis Amputados	Evitar en pacientes embarazadas, con marcapasos, DAI
Bioimpedancia vectorial	Nutrilab	Pacientes con insuficiencia cardiaca, insuficiencia renal, adultos sanos, mujeres embarazadas	Evitar en DAI

dos, proteínas y glóbulos blancos al lugar donde se produce el daño tisular y aumento del catabolismo celular⁴⁵.

La inflamación se refleja en la BIA con un descenso del AF, aumento del Na-K ic, descenso de la MC y aumento del AT a expensas del AE y del líquido intersticial con descenso del AI y de la MM⁴⁶.

Sobrecarga de volumen-insuficiencia cardiaca (IC)

El uso de la BIA para la evaluación del estado de hidratación desempeña un papel importante en el pronóstico de la IC aguda, en el diagnóstico de disnea, nefropatía y para definir el tratamiento diurético. En la práctica clínica diaria, no se pueden evidenciar cambios agudos en el balance hídrico de forma inmediata mediante procedimientos clínicos y diagnósticos. La BIA identifica el grado de hidratación por referencia a las elipses en el 50, el 75 y el 90% de la población sana.

La sobrecarga subclínica de volumen representa un tema de debate. La sobrecarga de volumen representa un elemento fundamental en la fisiopatología de la IC, ERC y síndrome nefrótico, por lo que su manejo es importante a la hora de prevenir complicaciones a largo plazo.

Los pacientes con IC crónica desarrollan cambios en la CC. Sin embargo, los métodos habituales de evaluación de la CC pueden ser erróneos porque existe una alteración de la hidratación de los tejidos.

La BIA es útil en el diagnóstico de la congestión, control terapéutico y aporte de información pronóstica en el contexto de la IC^{47,48}. Recientemente se ha establecido el papel del AF en la predicción de la hospitalización en pacientes con infarto agudo de miocardio y de prever eventos adversos cardiovasculares mayores (MACE). En pacientes con IC, el AF podría considerarse como un marcador fiable en el manejo de esta patología^{49,50}. La evaluación de la congestión en el contexto de IC es un desafío y muchas veces se subestima. Las guías de práctica clínica proporcionan recomendaciones para la evaluación general de signos y síntomas de congestión, pero la congestión residual a menudo pasa inadvertida^{51,52}. Su prevalencia es del 40 al 77% e impacta considerablemente con evolución adversa en los reingresos por IC y mortalidad por todas las causas⁵³.

La BIA demostró ser una herramienta fiable para la detección de edema periférico en IC aguda y crónica, de forma aislada o en combinación con biomarcadores de congestión como el péptido natriurético cerebral aminoterminal (NT-ProBNP) y el antígeno de cáncer 125 (CA-125)^{48,54}. Los pacientes diagnosticados con una clase III-IV de la New York Heart Association (NYHA) que sufren IC crónica evidencian valores de AF significativamente más bajos que reflejan cambios en la CC en relación con la progresión de la IC⁵⁵.

La realización de la BIA es segura en pacientes con problemas cardíacos y portadores de dispositivos electrónicos, como mar-

capasos y desfibriladores. No es infrecuente que los pacientes con IC lleven implantados dispositivos como marcapasos y desfibriladores. Dichos dispositivos demostraron no verse afectados por las ondas eléctricas de BIA y AF que continuaron actuando como un biomarcador reproducible en dichos pacientes. La BIA no mostró variaciones significativas antes y después de la implantación de los dispositivos^{56,57}.

Enfermedad renal crónica (ERC)

Las alteraciones en la CC se observan con frecuencia en pacientes con ERC^{58,59} y se considera un modelo de envejecimiento prematuro⁶⁰. Los parámetros derivados de la BIA han sido estudiados como factores pronósticos de DPE, morbimortalidad y riesgo cardiovascular en pacientes con ERC desde los estadios iniciales, por lo que constituye una relevante área de conocimiento en la evolución de la ERC. Recientemente se estudió de forma prospectiva y multicéntrica una cohorte poblacional de 3.939 pacientes con ERC (estudio CRIC), evaluando la asociación de las medidas BIA con riesgos de mortalidad, IC y objetivos renales⁶¹. Los autores determinaron que el AF más bajo se asoció significativamente con mortalidad y la sobrehidratación se asoció significativamente con IC. Estos hallazgos sugieren que las alteraciones precoces de la CC medida con BIA pueden ser marcadores de pronóstico y diagnóstico en esta población.

Las aplicaciones más relevantes de la BIA se extienden a la valoración del estado de hidratación, nutricional e inflamatorio en los pacientes con ERC, hemodiálisis, diálisis peritoneal y trasplante renal^{42,62}.

Por ello, actualmente la BIA constituye una herramienta de gran valor en el análisis de la CC por ser exacta, validada, no invasiva y de bajo coste que se puede realizar de forma rutinaria en las consultas externas, a pie de cama y de gran reproducibilidad tanto en individuos sanos como enfermos.

CONCLUSIONES

La utilidad de la BIA incluye diferentes patologías. Uno de los mayores desafíos de la medicina actual es predecir o estimar el riesgo de que ocurra un evento en un individuo sano o patológico. Por tanto, el creciente interés de conocimiento en el papel de diagnóstico y pronóstico de biomarcadores que pueden ser identificados en una patología determinada constituye un área de investigación.

Parámetros derivados de la BIA, como AF, NA-K intercambiable o MC, pueden ser biomarcadores de los diferentes estadios de la ERC y pueden abordar cuestiones clínicamente relevantes en el manejo del paciente con ERC, hemodiálisis, diálisis peritoneal y trasplante.

Conflicto de intereses

El Dr. Secundino Cigarrán Guldris declara que no tiene conflictos de interés.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr.* 1986;44:417-24.
- Kyle UG, Piccoli A, Pichard C. Body composition measurements: interpretation finally made easy for clinical use. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2003;6:387-93.
- Lukaski HC. Evolution of bioimpedance: a circuitous journey from estimation of physiological function to assessment of body composition and a return to clinical research. *Eur J Clin Nutr.* 2013;67:S2-S9.
- Ellis KJ, Bell SJ, Chertow GM, Chumlea WC, Knox TA, Kotler DP, et al. Bioelectrical impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition.* 1999;15:874-80.
- Battezzati A, Bertoli S, Testolin C, Testolin G. Body composition assessment: an indispensable tool for disease management. *Acta Diabetol.* 2003;40:S151-S153.
- Lee SW, Ngoh CLY, Chua HR, Haroon S, Wong WK, Lee EJ, et al. Evaluation of different bioimpedance methods for assessing body composition in Asian non-dialysis chronic kidney disease patients. *Kidney Res Clin Pract.* 2019;38:71-80.
- Broers NJH, Canaud B, Dekker MJE, van der Sande FM, Stuard S, Wabel P, et al. Three compartment bioimpedance spectroscopy in the nutritional assessment and the outcome of patients with advanced or end stage kidney disease: What have we learned so far? *Hemodial Int Symp Home Hemodial.* 2020;24:148-61.
- Ward LC. Bioelectrical impedance analysis for body composition assessment: Reflections on accuracy, clinical utility, and standardisation. *Eur J Clin Nutr.* 2019;73:194-9.
- Ikizler TA, Burrowes JD, Byham-Gray LD, Campbell KL, Carrero JJ, Chan W, et al. KDOQI Clinical Practice Guideline for Nutrition in CKD: 2020 Update. *Am J Kidney Dis Off J Natl Kidney Found.* 2020;76:S1-S107.
- Ekmazadeh M, Santoro D, Kopple JD. The Effect of Nutrition and Exercise on Body Composition, Exercise Capacity, and Physical Functioning in Advanced CKD Patients. *Nutrients.* 2022;14:2129.
- Cure JC. Cancer an electrical phenomenon. *Resonant.* 1991; 1:1-35.
- Reilly JP. *Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electrophathology.* New York: Springer, 1998.
- Brown G. *The Energy of Life: The Science of What Makes Our Minds and Bodies Work.* New York, NY: The Free Press, 1999.
- Steve Haltiwanger The Electrical Properties of Cancer Cells. Disponible en: <http://www.royalrife.com/haltiwanger1.pdf>.
- Bordelon DJ, Wingfield WE. Monitoring acute fluid shifts with bioelectrical impedance analysis: a review. *J Vet Emerg Crit Care.* 2002;12:153-61.
- Hoffer EC, Clifton KM, Simpson DC. Correlation of wholebody impedance with total body volume. *J Appl Physiol.* 1969;27:531-4.
- Nyboer J. *Electrical impedance plethysmograph*, 2nd ed. Springfield, IL: CC Thomas, 1970.
- Boulier A, Fricker J, Thomasset A-L, Apfelbaum M. Fat-free mass estimation by the two-electrode impedance method. *Am J Clin Nutr.* 1990;52:581-5.
- Sánchez-Iglesias A, Fernández-Lucas M, Teruel JL. Fundamentos eléctricos de la bioimpedancia. *Nefrología.* 2012;32:133-5.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods. *Clin Nutr.* 2004;23:1226-43.
- Lukaski HC, García-Almeida JM. Phase angle in applications of bioimpedance in health and disease. *Rev Endocr Metab Disord.* 2023;24:367-70.
- Ceolin J, Lucas de Borja E, Mundstock E, Rodrigues de Oliveira J, Mattiello R, Bodanese LC. Phase angle of bioimpedance as a marker of inflammation in cardiovascular diseases: A systematic review. *Nutrition.* 2023;112:112064.
- Norman K, Pirlich M, Sorensen J, Christensen P, Kemps M, Schütz T, et al. Bioimpedance vector analysis as a measure of muscle function. *Clin Nutr.* 2009;28:78-82.
- Bellido D, García-García C, Talluri A, Lukaski HC, García-Almeida JM. Future lines of research on phase angle: Strengths and limitations. *Rev Endocr Metab Disord.* 2023;24:563-83.
- Gonzalez MC, Barbosa-Silva TG, Bielemann RM, Gallagher D, Heymsfield SB. Phase angle and its determinants in healthy subjects: Influence of body composition. *Am J Clin Nutr.* 2016;103:712-6.
- Kumar S, Dutt A, Hemraj S, Bhat S, Manipadybhima B. Phase angle measurement in healthy human subjects through bio-impedance analysis. *Iran J Basic Med Sci.* 2012;15:1180-4.
- Barrea L, Muscogiuri G, Pugliese G, Laudisio D, de Alteriis G, Graziadio C, et al. Phase Angle as an Easy Diagnostic Tool of Meta-Inflammation for the Nutritionist. *Nutrients.* 2021;13:1446.
- Hirose S, Nakajima T, Nozawa N, Katayanagi S, Ishizaka H, Mizushima Y, et al. Phase Angle as an Indicator of Sarcopenia, Malnutrition, and Cachexia in Inpatients with Cardiovascular Diseases. *J Clin Med.* 2020;9:2554.
- Garlini LM, Alves FD, Ceretta LB, Perry IS, Souza GC, Clausell NO. Phase angle and mortality: A systematic review. *Eur J Clin Nutr.* 2019;73:495-508.
- Cigarrán Guldris S. Tesis doctoral. Utilidad de la bioimpedancia vectorial como herramienta pronóstica asociada a malnutrición, morbilidad y riesgo cardiovascular en pacientes con enfermedad renal crónica estadios 1-5 no en diálisis. Disponible en: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/38671/Cigarr%C3%A1nGuldris_Secundino_TD_2024.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Talluri A, Liedtke R, Mohamed EI, Maiolo C, Martinoli R, De Lorenzo A. The application of body cell mass index for studying muscle mass changes in health and disease conditions. *Acta Diabetol.* 2003;40:S286-S289.
- Williams SB, Bartsch G, Muurahainen N, Collins G, Raghavan SS, Wheeler D. Protein intake is positively associated with body cell mass in weight-stable HIV-infected men. *J Nutr.* 2003;133:1143-6.
- Wang Z, St-Onge MP, Lecumberri B, Pi-Sunyer FX, Heshka S, Wang J, et al. Body cell mass: model development and validation at the cellular level of body composition. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2004;286:E123-8.
- Campbell KL, Ash S, Bauer JD, Davies PSW. Evaluation of Nutrition Assessment Tools Compared with Body Cell Mass for the Assessment of Malnutrition in Chronic Kidney Disease. *J Ren Nutr.* 2007;17:189-95.
- Barril G, Nogueira A, Álvarez-García G, Núñez A, Sánchez-González C, Ruperto M. Nutritional Predictors of Mortality after 10 Years of Follow-Up in Patients with Chronic Kidney Disease at a Multi-

- disciplinary Unit of Advanced Chronic Kidney Disease. *Nutrients*. 2022;14:3848.
36. Ruperto M, Barril G. Nutritional Status, Body Composition, and Inflammation Profile in Older Patients with Advanced Chronic Kidney Disease Stage 4-5: A Case-Control Study. *Nutrients*. 2022;14:3650.
37. Barril G, Nogueira A, Ruperto M, Castrod Y, Sánchez-Tomero JA. Influence of dietary protein intake on body composition in chronic kidney disease patients in stages 3-5: A cross-sectional study. *Nefrología*. 2018;38:647-54.
38. Shizgal HM. Validation of the Measurement of Body Composition from Whole Body Bioelectric Impedance. *Infusionstherapie*. 1990;17(suppl 3):67-74.
39. Toselli S, Marini E, Maietta Latessa P, Benedetti L, Campa F. Maturity Related Differences in Body Composition Assessed by Classic and Specific Bioimpedance Vector Analysis among Male Elite Youth Soccer Players. *Int J Env Res Public Health*. 2020;17:729.
40. Lukaski HC, Siders WA, Nielsen EJ, Hall CB. Total Body Water in Pregnancy: Assessment by Using Bioelectrical Impedance. *Am J Clin Nutr*. 1994;59:578-85.
41. Pirani BB, Campbell DM, MacGillivray I. Plasma Volume in Normal First Pregnancy. *J Obs Gynaecol Br Commonw*. 1973;80:884-7.
42. Cigarran Guldris S. Future uses of vectorial bioimpedance (BIVA) in nephrology. *Nefrología*. 2011;31:635-43.
43. Gray DS, Bray GA, Gemayel N, Kaplan K. Effect of Obesity on Bioelectrical Impedance. *Am J Clin Nutr*. 1989;50:255-60.
44. Heo M, Faith MS, Pietrobelli A, Heymsfield SB. Percentage of body fat cutoffs by sex, age, and race-ethnicity in the US adult population from NHANES 1999-2004. *Am J Clin Nutr*. 2012;95:594-602.
45. Badrooj N, Keshavarz SA, Yekaninejad MS, Mirzaei K. Association between Dietary Inflammatory Index with Bioelectrical Impedance Parameters and Characteristics Health in Overweight/Obese Women: A Cross-Sectional Study. *Int J Prev Med*. 2021;12:79.
46. Kalantar-Zadeh K, Balakrishnan VS. The kidney disease wasting: Inflammation, oxidative stress, and diet-gene interaction. *Hemodial Int*. 2006;10:315-25.
47. Scicchitano P, Massari F. Bioimpedance vector analysis in the evaluation of congestion in heart failure. *Biomark Med*. 2020;14:81-5.
48. Massari F, Scicchitano P, Iacoviello M, Passantino A, Guida P, Sanasi M, et al. Multiparametric approach to congestion for predicting long-term survival in heart failure. *J Cardiol*. 2020;75:47-52.
49. Queiroz SA, Gonzalez MC, da Silva AMB, Costa JKA, de Oliveira CDR, de Sousa IM, et al. Is the standardized phase angle a predictor of short-and long-term adverse cardiovascular events in patients with acute myocardial infarction? A cohort study. *Nutrition*. 2022;103-104:111774.
50. Scicchitano P, Ciccone MM, Passantino A, Valle R, De Palo M, Sasanelli P, et al. Congestion and nutrition as determinants of bioelectrical phase angle in heart failure. *Heart Lung*. 2020;49:724-8.
51. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Böhm M, et al. ESC Scientific Document Group. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2021;42:3599-726.
52. Rivas-Lasarte M, Maestro A, Fernández-Martínez J, López-López L, Solé-González E, Vives-Borrás M, et al. Prevalence and prognostic impact of subclinical pulmonary congestion at discharge in patients with acute heart failure. *ESC Heart Fail*. 2020;7:2621-8.
53. Rubio-Gracia J, Demissei BG, Ter Maaten JM, Cleland JG, O'Connor CM, Metra M, et al. Prevalence, predictors and clinical outcome of residual congestion in acute decompensated heart failure. *Int J Cardiol*. 2018;258:185-91.
54. Massari F, Iacoviello M, Scicchitano P, Mastropasqua F, Guida P, Riccioni G, et al. Accuracy of bioimpedance vector analysis and brain natriuretic peptide in detection of peripheral edema in acute and chronic heart failure. *Heart Lung*. 2016;45:319-26.
55. Castillo Martínez L, Colín Ramírez E, Orea Tejeda A, Asensio Lafuente E, Bernal Rosales LP, Rebollar González V, et al. Bioelectrical impedance and strength measurements in patients with heart failure: comparison with functional class. *Nutrition*. 2007;23:412-8.
56. Garlini LM, Alves FD, Kochi A, Zuchinali P, Zimmerman L, Pimentel M, et al. Results of Bioelectrical Impedance Analysis in Patients with Cardiac Implantable Electronic Devices. *Braz J Cardiovasc Surg*. 2020;35:169-74.
57. Roehrich L, Suendermann S, Just IA, Knierim J, Mulzer J, Mueller M, et al. Safety of bioelectrical impedance analysis in advanced heart failure patients. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2020;43:1078-85.
58. Obia Y, Qadera H, Kovesdy CP, Kalantar-Zadeh K. Latest consensus and update on protein-energy wasting in chronic kidney disease. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2015;18:254-62.
59. Tonelli M, Wiebe N, Culleton B, House A, Rabbat C, Fok M, et al. Chronic Kidney Disease and Mortality Risk: A Systematic Review. *J Am Soc Nephrol*. 2006;17:2034-47.
60. Kooman JP, Shiels PG, Stenvinkel P. Premature aging in chronic kidney disease and chronic obstructive pulmonary disease: similarities and differences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2015;18:528-34.
61. Bansal N, Zelnick LR, Himmelfarb J, Chertow GM. Bioelectrical Impedance Analysis Measures and Clinical Outcomes in CKD. *Am J Kidney Dis*. 2018;72:662-72.
62. Caravaca F, Martínez del Viejo C, Villa J, Martínez-Gallardo R, Ferreira F. Estimación del estado de hidratación mediante bioimpedancia espectroscópica multifrecuencia en la enfermedad renal crónica avanzada prediálisis. *Nefrología*. 2011;31:537-44.