

TEMA 5. COMPOSICIÓN CORPORAL.

Se pueden establecer criterios bioquímicos o por componentes a la hora de realizar divisiones del cuerpo humano en componentes. En la figura 83, se pueden ver algunos niveles a los que se puede dividir el cuerpo humano.

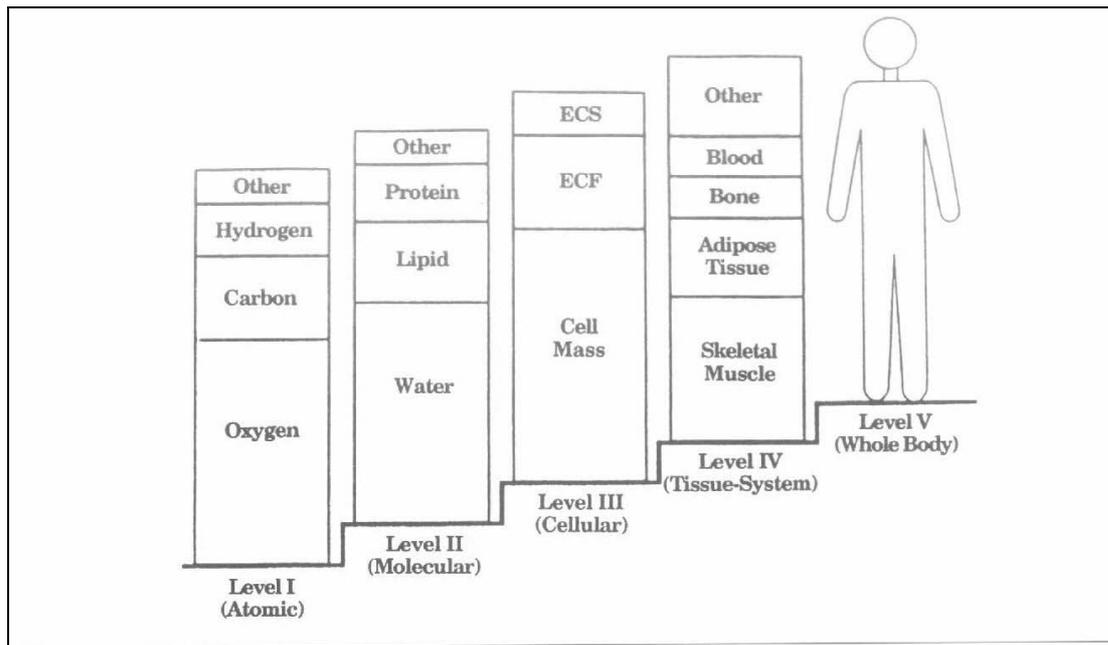


Figura 83. Distintos niveles a los que se pueden dividir el cuerpo humano. Nivel I (Atómico), Nivel II (Molecular), Nivel III (Celular), Nivel IV (Sistemas y Tejidos) Nivel V (Cuerpo Completo) (Forbes, 1987).

A nivel práctico, existen diferentes modelos para dividir el cuerpo humano:

- Modelo de 2 componentes. El cuerpo estaría dividido en Masa Grasa (M.G) y Masa Libre de Grasa (M.L.G)

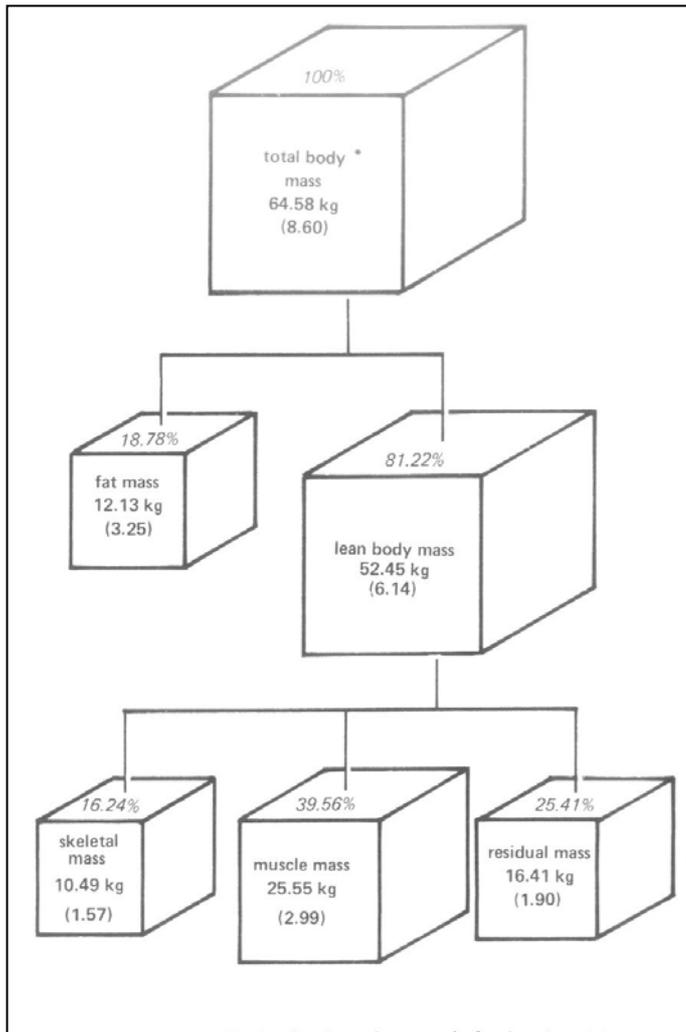
- Modelo químico de 4 componentes. El cuerpo estaría compuesto por Grasa, Agua, Proteínas y Minerales.

- Modelo de fluidos metabólicos. Compuesto por Grasa, Fluido Extracelular (E.C.F), Fluido Intracelular (I.C.F), Sólidos Intracelulares (I.C.S) y Sólidos Extracelulares (E.C.S).

- Modelo Anatómico. Compuesto por tipos de tejidos como son tejido adiposo, tejido blando que no es músculo esquelético, tejido músculo esquelético, hueso.

- Modelo químico de 4 componentes de Matiegka. Es el más utilizado en estudios cineantropométricos. El cuerpo humano se divide en Masa Grasa (M.G), Masa Muscular (M.M), Masa Ósea (M.O) y Masa Residual (M.R).

- Modelo de 5 componentes (Drinkwater). Incluye, al modelo de Matiegka, la piel como componente diferenciado del resto.



El modelo Phantom se basaba en una división del cuerpo humano en cuatro componentes. Los valores medios y sus desviaciones típicas se muestran en la figura 84.

El nivel de rendimiento está muy relacionado con la composición corporal por eso resulta interesante incluir un estudio de composición corporal en el seguimiento del deportista.

Figura 84.- División del modelo Phantom en cuatro componentes (Forbes, 1987).

5.1. CLASIFICACIÓN MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL. MÉTODOS DIRECTOS, INDIRECTOS Y DOBLEMENTE INDIRECTOS.

Existen muchos métodos de valorar la composición corporal. Vamos a clasificarlos en función de dos criterios:

A) CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FORMA DE TRABAJO:

- **Normativos-Descriptivos:** Son modelos teóricos que se resumen en una fórmula ó Nomograma (Ejemplo, el IMC).
- **Densimétricos-Extrapolativos:** Utilizan densidades, pesos específicos, volumen, talla y peso como variables fundamentales.
- **Proporcionales-Fraccionados:** Dividen el cuerpo humano en componentes y calculan los mismos mediante fórmulas. Un ejemplo es el modelo de 4 componentes de Matiegka, que desarrollaremos más adelante.

B) CLASIFICACIÓN SEGÚN LA METODOLOGÍA:

- **Métodos Directos:** El único método directo es la disección de cadáveres. En el pasado se hizo con mendigos.
- **Métodos Indirectos:** Miden un parámetro (Por ejemplo, la densidad corporal), y lo utilizan para estimar uno o más componentes a través de una relación constante.
- **Métodos Doblemente Indirectos:** Resultan de aplicar ecuaciones derivadas, a su vez, de algún otro método indirecto. Un ejemplo es la antropometría. Existe un error al aplicar la ecuación y existió otro error al hacerla. Son necesarios para hacer extensible el estudio de la composición corporal a una población muy amplia.

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS ANTROPOMÉTRICOS (I).

CLASIFICACIÓN DE LOS MÉTODOS ANTROPOMÉTRICOS (II).

DIRECTOS: Disección de Cadáveres.			DOBLEMENTE INDIRECTOS:			
INDIRECTOS:			T.O.B.E.C	B.E.I	N.I.R	ANTROPOMETRÍA
Físico-Químicos	Imagen	Densimetría	Total	Body	Near	Ind. Obesidad y Masa Corp Modelo "4 Componentes" Modelo "2 Componentes" Somatogramas. Somatotipo. "Phantom" Ecuac. Regres. Lineales. Ecuac. Regres. Generales O'Scale ;
Plemistografía.	Radiología Clásica	Pesada Hidrostática				
Absorc. de gases.	Ultrasonidos.			Electrical		
Dilución Isotópica.	Tomografía Axial Computerizada					
Espectr. Rayos γ	Resonancia Magn.	Volumen de H ₂ O desplazado.	Conductivity	Impedance	Reactance	

Figura 85. Clasificación de los métodos de la estimación de la composición corporal.



5.2. MÉTODOS INDIRECTOS PARA EL ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL.

5.2.1.- MÉTODOS FÍSICOS

En todos los casos se utiliza una cámara presurizada para calcular el volumen corporal. Se pueden clasificar en:

- **PLEMISTOGRAFÍA ACÚSTICA.**

El principio de este método es que la frecuencia de resonancia de una cámara es inversamente proporcional al cuadrado de su volumen. (Ley de Helmholtz).

1º.- Se mide la frecuencia de la cámara.

2º.- Se introduce el cuerpo.

3º.- Se vuelve a medir la frecuencia con el cuerpo dentro. Se registra la frecuencia de resonancia.

4º.- Se calcula el volumen del sujeto en función de la variación de la frecuencia de resonancia de la cámara.

5º.- Con el volumen y el peso del sujeto se calcula su densidad.

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

6º.- La densidad sirve para calcular los diferentes componentes a través de ecuaciones.

El problema es la gran infraestructura necesaria y el gran número de factores de variabilidad.

- **DESPLAZAMIENTO DE AIRE.**

Se basa en la medición de la variación de presión dentro de la cámara al introducir el cuerpo. Esto nos permite calcular el volumen y, posteriormente, la densidad del sujeto. Por último, como en el caso anterior se utilizan diversas fórmulas para el cálculo de las diferentes componentes corporales en función de la densidad.

Además de una completa y cara infraestructura, precisa un protocolo muy complejo.

- **DILUCIÓN DE HELIO.**

- 1º.- Se introduce al sujeto en una cámara con Helio a una concentración conocida.
- 2º.- Medición de la cantidad de Helio liberado al introducir el cuerpo.
- 3º.- Se calcula el volumen del cuerpo.
- 4º.- Con el volumen se calcula la densidad.
- 5º.- Se aplican las ecuaciones para la estimación de las diferentes componentes corporales.

De nuevo, volvemos a tener el problema de la compleja infraestructura.

- **GASES SOLUBLES EN GRASA.**

- 1º.- Se disuelve una cantidad determinada de Gas Noble (Xenón o Kriptón) en la cámara presurizada.
- 2º.- Se introduce el sujeto dentro de la cámara y el gas noble se disuelve en el tejido adiposo con un coeficiente de solubilidad conocido.
- 3º.- Se calcula la cantidad de gas noble disuelto.
- 4º.- Se calcula el tejido adiposo.

Además de la compleja infraestructura, se precisa mucho tiempo (4 horas o más).

5.2.2.- MÉTODOS QUÍMICOS.

Se valora la masa grasa gracias a productos o elementos químicos. Los primeros estudios los realizó, en 1930, la marina de los Estados Unidos. Se trataba de comprender la difusión del Nitrógeno en la grasa y en los fluidos corporales de los submarinistas, que originaba grandes trastornos, llegando hasta la muerte, durante las descompresiones. Estos estudios se basaban en el modelo de 2 componentes.

En general, los métodos químicos presentan una serie de inconvenientes:

- Requieren una gran infraestructura y tienen un elevado coste económico.
- Tienen unos protocolos muy complejos, por lo que están limitados al campo experimental.
- La validez científica es relativa puesto que utilizan el modelo de 2 componentes y no el de 4 ó 5 componentes. Además, las constantes de las ecuaciones no han sido suficientemente validadas.

- **DILUCIÓN ISOTÓPICA.**

Mide el agua corporal total por medio de un marcador radiactivo que se diluye en el agua del organismo.

1º.- Se introduce el marcador por ingestión o mediante una inyección. Los marcadores suelen ser Deuterio ($2\text{H}_2\text{O}$), Tritio (THO) o Antipirina.

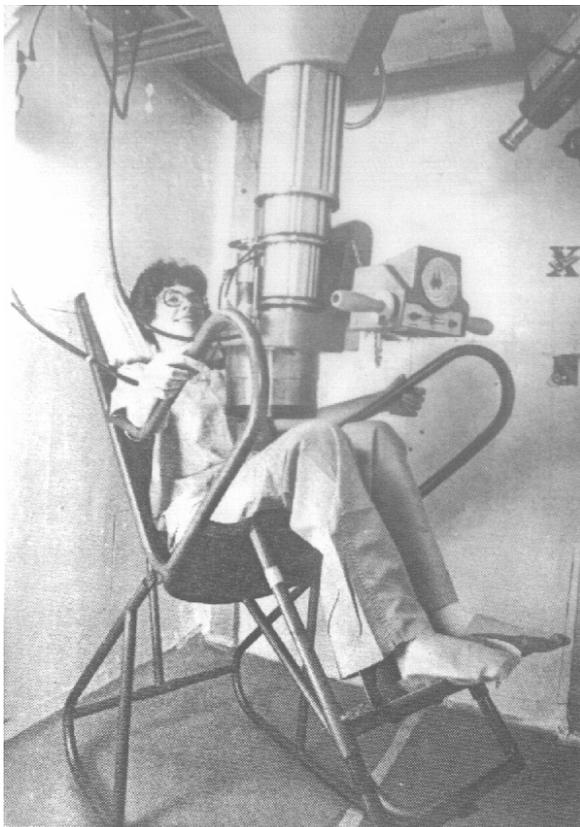
2º.- Se deja que el marcador se equilibre disolviéndose en el agua.

3º.- Se calcula la concentración del marcador, en un análisis de sangre u orina, ó estudiando el espectro de emisión de rayos β de los productos (que tienen naturaleza radiactiva).

4º.- Conocido el volumen de agua se puede estimar la masa magra sabiendo que el músculo tiene un 73,2% de agua y la masa grasa no acumula nada de agua. Posteriormente se estiman el resto de componentes.

El problema es que el 73,2% de agua de la masa muscular es un dato poco validado (existen datos en cerdos y en ocho cadáveres).

- **ESPECTROMETRÍA DE RAYOS GAMMA.**



Se miden la radiaciones de los isótopos del Potasio ^{42}K ó ^{40}K que constituyen el 0,012% del potasio corporal total (Ver Figura 86).

Se considera la concentración de K corporal es de 68,1 mEq/kg. La mayor parte del potasio se encuentra en la masa magra. Los isótopos ^{42}K ó ^{40}K emiten un 11% de la radiación en Rayos γ y el 89% en forma de Rayos β .

En este caso, el “handicap” del método es que el dato de 68,1 mEq/kg varia con la edad, sexo y nivel de hidratación.

Figura 86. Espectrómetro de de rayos γ (Forbes 1987).

- **ACTIVACIÓN DE NEUTRONES.**

Cuando bombardeamos un cuerpo con neutrones, determinados isótopos los capturan y emiten radiación en forma de Rayos γ y Rayos β , la cuál puede ser registrada (Figura 87).

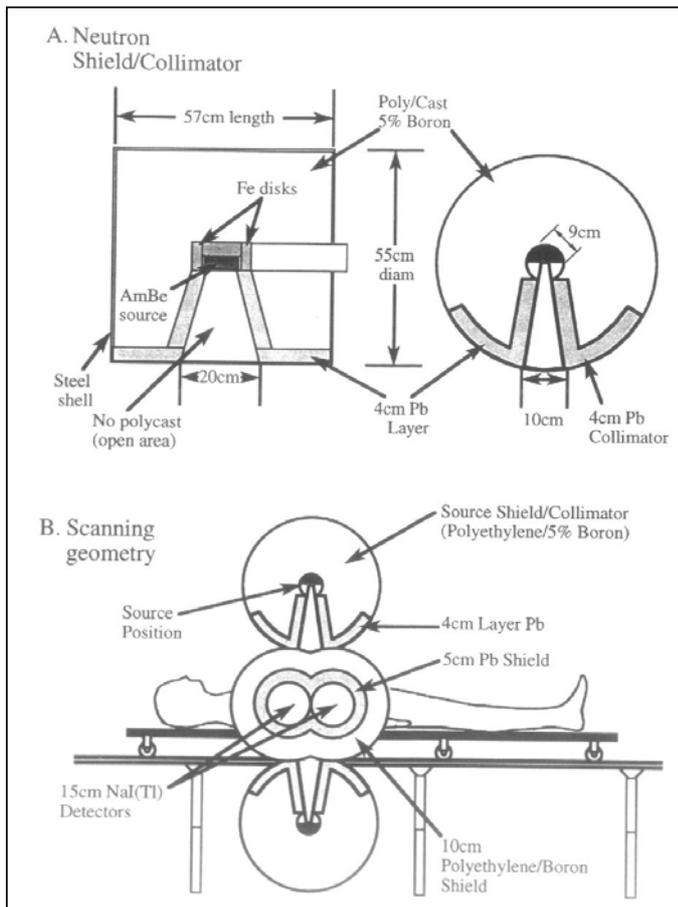


Figura 87.- Esquema de un activador de neutrones (Forbes, 1987)

- ESPECTROMETRÍA FOTÓNICA.

Evalúa la densidad y el contenido mineral óseo (Na y P) y muscular (K). Para ello, se irradia la zona con rayos γ y se registra la radiación absorbida. La cantidad de radiación absorbida es directamente proporcional al contenido del mineral.

La Radiación Fotónica dual reduce la cantidad de radiación a la que se ve sometido el sujeto, exponiéndolo a 1-3 mRem, frente a los 5 mRem del método tradicional.

- EXCRECIÓN DE CREATININA Y 3-METILHISTIDINA.

La grasa contiene un 64% del Carbono corporal total. Si se bombardea con neutrones, se puede medir la radiación γ del ^{12}C .

La cuantificación de la masa muscular se hace a través del ^{40}N , para el cual se asume un valor constante de 30,1 g/Kg. Este es un valor que depende de distintos factores:

- La relación K/N, la cual es muy variable en las distintas partes del cuerpo.
- La deshidratación.
- La densidad ósea.

Esta variabilidad puede inducir a errores acumulados de esta un 18% en los cálculos de la masa muscular por este método.

El 98% de la creatina se encuentra en el músculo y la creatinina es su metabolito. En este método, se registra la creatinina en varias tomas diarias de orina o una sola muestra de sangre.

Se sabe que cada mg. de creatinina en plasma equivale a 0,88 Kg de masa muscular con una correlación bastante alta ($r = 0,87$) (Figura 88). El problema es que la excreción de creatinina puede ser alterada en dietas hiperproteicas, malnutrición o ejercicio intenso

Por otro lado, la 3-Metilhistidina es un aminoácido que se encuentra en el intestino (Figura 89) y que tiene una mayor variación individual que la creatina. Su correlación con la densimetría es algo inferior que la técnica de la creatina ($r=0,79$). La masa muscular se obtiene aplicando la fórmula:

$$M. \text{Musc} = (0,118 \times 3\text{-Mhist en } \mu\text{mol/día}) - 3,45$$

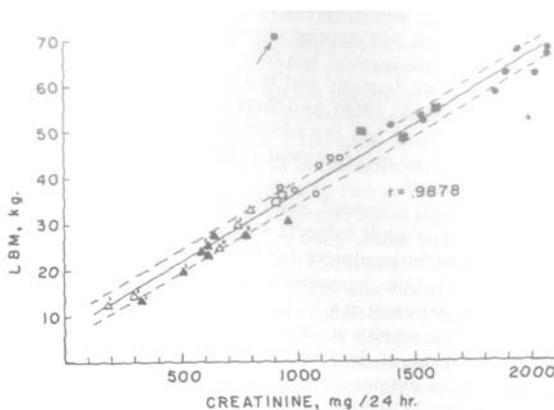


Figura 88.- Relación creatinina-masa libre de grasa (Forbes, 1987).

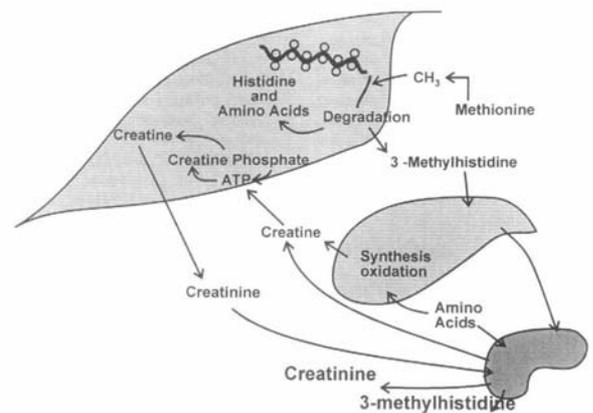


Figura 89.- Metabolismo de la creatina y la 3-Metilhistidina (Forbes, 1987).

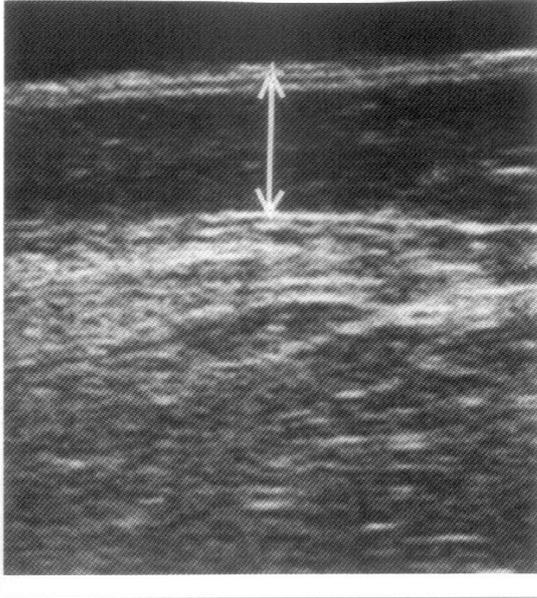
5.2.3.- MÉTODOS DE EXPLORACIÓN DE LA IMAGEN.

- RADIOLOGÍA CONVENCIONAL.

Se precisa una serie de radiografías normales con una intensidad y tiempo de exposición controlados. Las distintas tonalidades identifican con el tejido subcutáneo, el muscular y el óseo, que puede ser medido. Era una técnica muy en vigor hasta los años 70; sin embargo, el escaso poder de contraste entre tejidos blandos y la excesiva radiación (>5 mRem) a la que se tenía que exponer al sujeto la fueron dejando en desuso.

- ULTRASONIDOS.

En una ecografía, un transductor (cristal piezo-eléctrico) vibra emitiendo a una frecuencia de 40 Mhz. El sonido choca contra los distintos órganos que reflejan un eco diferente en función de



su composición. El aparato registra la señal que llega “reflejada”, y la transforma en energía eléctrica, que es enviada a un ordenador y transformada en escalas de grises.

Esta técnica colaboró a hacer decaer las técnicas radiológicas. El problema es que es poco precisa con gases y huesos, y su correlación con la densimetría no es mejor que las técnicas antropométricas. En la figura 90, se puede ver un ejemplo de imagen ecográfica.

Figura 90.- Imagen ecográfica del pliegue supriliaco (16 mm) (Forbes, 1987).

- TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTERIZADA (T.A.C.).

Un T.A.C. es una secuencia de radiografías. El haz va pasando a lo largo del cuerpo y se registran las diferencias de las emisiones para dar una imagen total del cuerpo en un ordenador. En la figura 91, se puede ver una fotografía de un aparato para realizar esta técnica. El mayor problema es que el sujeto recibe mucha radiación; sin embargo, el método tiene una alta correlación entre el TAC y con otras técnicas de determinación de la composición corporal.

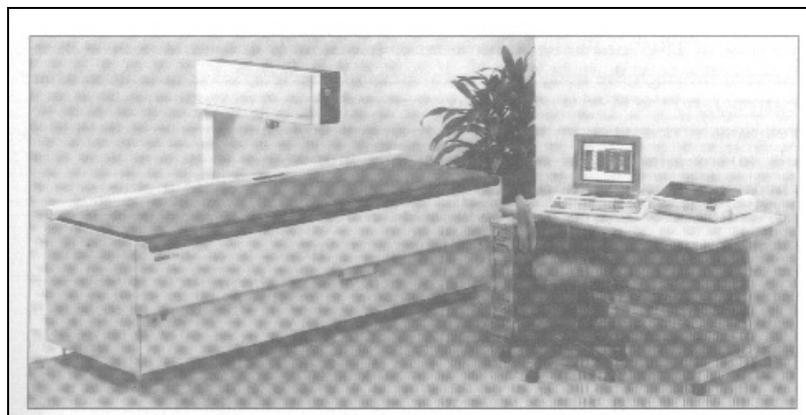


Figura 91.- Ejemplo de aparato para realizar T.A.C. (Forbes, 1987)

- RESONANCIA MAGNETICA NUCLEAR (R.M.N).

Mediante una resonancia magnética se registran las variaciones de imanación de una sustancia bajo la acción de un campo magnético.

Bloch y Purcell recibieron el premio Nobel de Física en 1952 por el descubrimiento. Las técnicas en humanos se desarrollaron en los años 60 y 70.

La R.M.N permite diferenciar los tejidos blandos (grasa, músculo y sangre) de las estructuras óseas. La grasa se registra como una señal blanca, al igual que el tejido esponjoso de los huesos. El tejido óseo compacto presenta color oscuro y los músculos se representan como distintos tonos de gris (Figuras 92 y 93).

Las ventajas de este método son:

- La ausencia de irradiaciones.
- Buena resolución de las partes blandas.
- Permite obtener imágenes tridimensionales.

Como inconvenientes había que destacar el elevado coste económico y el gran tiempo de exposición.

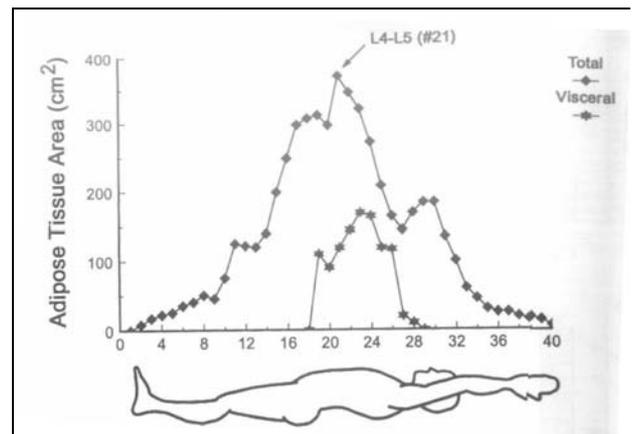
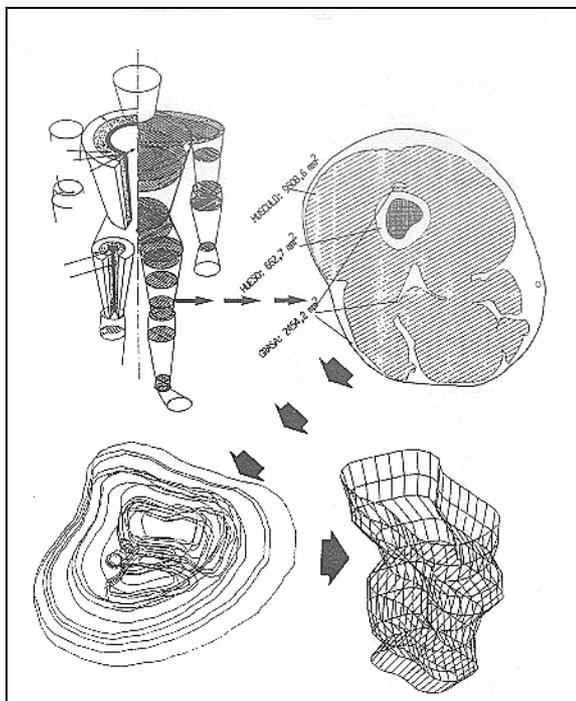


Figura 92.- Esquema de una RMN. (Forbes, 1987) Figura 93.- Concentración de tejido adiposo total y visceral en zonas del cuerpo (Forbes, 1987).

5.2.4.- MÉTODOS DENSIMÉTRICOS.

La densimetría es el método de laboratorio más utilizado para estimar el modelo de 2 componentes. Es el método “base” para validar cualquier otro método indirecto (Figura 94).

La idea de la densimetría para estimar la composición corporal surgió del estudio de la narcosis en el buceo. Los efectos del nitrógeno dependen de la cantidad y distribución del tejido graso. Se observó que existía una correlación directa entre la densidad del cuerpo humano y su contenido en grasa.

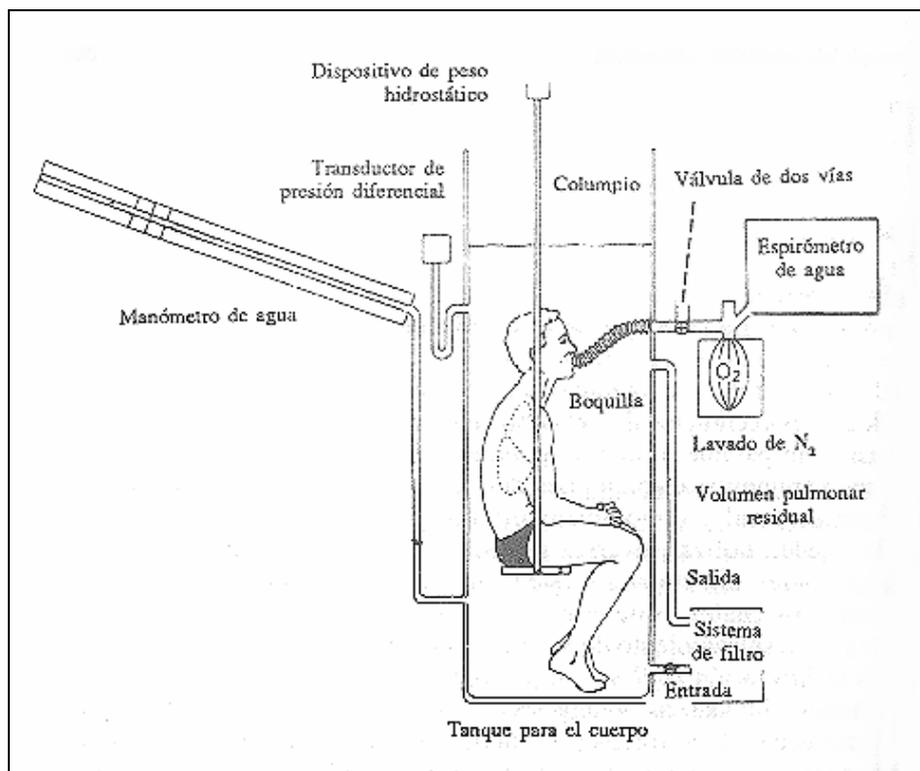


Figura 94.- Esquema de balanza hidrostática para realizar una densimetría.

El método consiste en pesar al sujeto en el aire y después en el agua para, posteriormente, calcular la densidad, por medio de la fórmula:

$$\text{Densidad} = \frac{m_{\text{aire}}}{m_{\text{aire}} - m_{\text{agua}}} \quad (\text{Ver Forbes, 1987})$$

Esta técnica también se puede aplicar con volúmenes. La densidad se calcularía teniendo en cuenta el volumen de agua desalojado al introducir al sujeto en un tanque de agua de volumen conocido.

Existen distintas fórmulas para la estimación del porcentaje de grasa a partir de la densidad corporal. Cada una se debería aplicar a un grupo de población específico y de una determinada edad. Algunas de ellas se pueden ver a continuación.

$$\% \text{ M.G.} = \left(\frac{5,548}{D} - 5,044 \right) \times 100 \text{ (Rathbun - Pace, 1945)}$$

$$\% \text{ M.G.} = \left(\frac{4,95}{D} - 4,5 \right) \times 100 \text{ (Siri, 1961)}$$

$$\% \text{ M.G.} = \left(\frac{4,57}{D} - 4,142 \right) \times 100 \text{ (Brozek y cols, 1961)}$$

$$\% \text{ M.G.} = \left(\frac{5,053}{D} - 4,614 \right) \times 100 \text{ (Behnke - Wilmore, 1974)}$$

$$\% \text{ M.G.} = \left(\frac{530}{D} - 489 \right) \times 100 \text{ (Lohman, 1984, para 8 - 12 años)}$$

Hay que tener en cuenta que la densimetría se fundamenta en considerar constantes la densidad de la masa magra (1,1 g/ml) y la masa grasa (0,9 g/ml). Estos datos son falsos cuando:

- Varía la composición de la grasa. El dato de 0,9 g/ml corresponde a la densidad de los triglicéridos. La densidad de la grasa cerebral es de 1,005 g/ml, debido a que su composición es rica en fosfolípidos, ésteres, colesterol, que son moléculas con un mayor peso específico que los triglicéridos y los ácidos grasos. Teniendo en cuenta que la masa grasa cerebral es de 200 gr., esto origina un error mínimo, que sólo es apreciable en personas muy delgadas.
- La proporción de los componentes de la masa magra (huesos, músculos y vísceras, principalmente) varía en cada sujeto, por tanto, también lo hará su densidad. Son normales valores entre 1,057 (en sujetos con osteoporosis) y 1,189 (en sujetos osteocleróticos). Hay que tener en cuenta que pequeñas variaciones en la densidad de la masa magra originan grandes diferencias al estimar la masa grasa. Esto puede originar que se alteren los valores de masa grasa hasta llegar, incluso, a valores negativos.
- La masa grasa calculada por densimetría está influida por el nivel de hidratación del sujeto. La deshidratación conlleva un aumento de la densidad corporal, debido a una disminución de la cantidad de agua en la masa magra.

Otro punto a tener en cuenta en la densimetría es que la masa magra tiene distintos componentes:

- Estudios con cadáveres han indicado una gran variación en la cantidad de masa magra que es masa muscular. Se obtuvieron un gran rango de valores entre un 40 y un 60%.
- La densidad del hueso fresco varia entre los 1,18 y el 1,33 g/ml, y su composición es de 18,6% de grasa, 32,4% agua, 19,8% proteínas y un 29,2% minerales. La densidad del hueso libre de grasa esta entre 1,14 – 1,72 g/ml, siendo la medio 1,43 g/ml.
- La proporción de hueso, frente a masa muscular, influirá mucho más en el cálculo de la densidad de la masa magra.

Densidad de la masa magra = 1,10 g/ml.

Densidad del músculo = 1,07 g/ml; (poca influencia en la densidad de la masa magra)

Densidad del hueso = 1,43 g/ml: (Elevada influencia en la densidad de la masa magra)

Hay que considerar que la masa magra de los niños tiene una menor densidad ($D = 1,084$ g/ml) debido a una osificación incompleta. Por otro lado, la densidad de la masa magra de los individuos de raza negra es mayor ($D = 1,113$ g/ml).

5.3. MÉTODOS DOBLEMENTE INDIRECTOS PARA EL ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL.

5.3.1.- T.O.B.E.C: (Conductividad Eléctrica Total Corporal)

Este método trata de medir el agua corporal basándose en el hecho de que la cantidad de electrolitos es mayor en la masa muscular que en la masa grasa. Para ello, se introduce al sujeto en una bobina, a la que la conductividad corporal induce un campo magnético de 2,5 a 5 Mhz. (Ver figura 95)

Su correlación con la densimetría es muy alta ($r = 0,92$), pero se necesita una estructura muy compleja para llevarla a cabo.

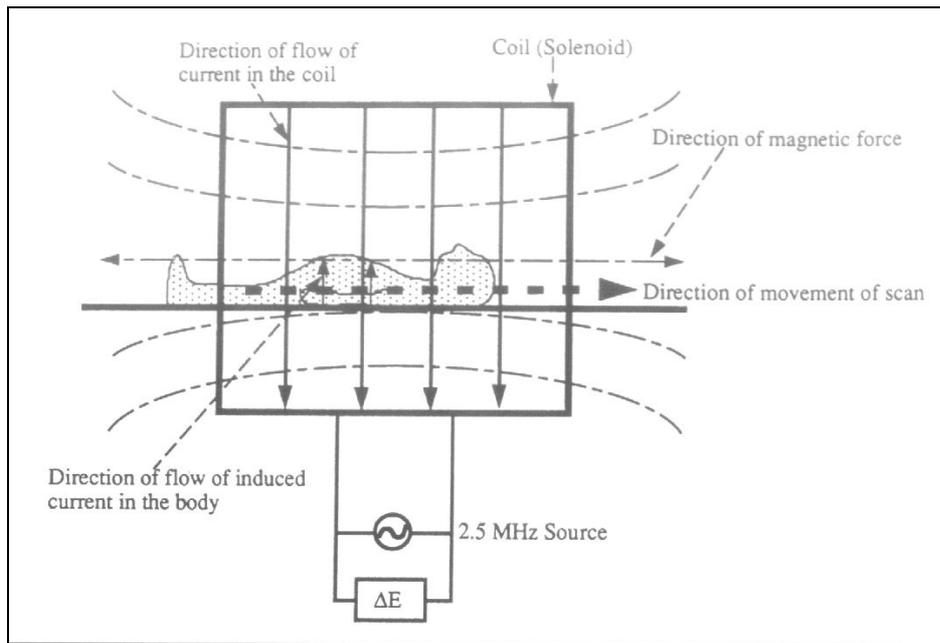


Figura 95.- Esquema del funcionamiento de un aparato para registrar la TOBEC (Forbes, 1987).

5.3.2.- B.E.I. (Impedancia Bioeléctrica)

Se ha demostrado que existe una elevada correlación entre el contenido en agua y la impedancia eléctrica del organismo. Impedancia Eléctrica (Z) es “el obstáculo que cualquier circuito ofrece al paso de una corriente eléctrica” y está en función de la Resistencia (R) y la Reactancia (X_c)

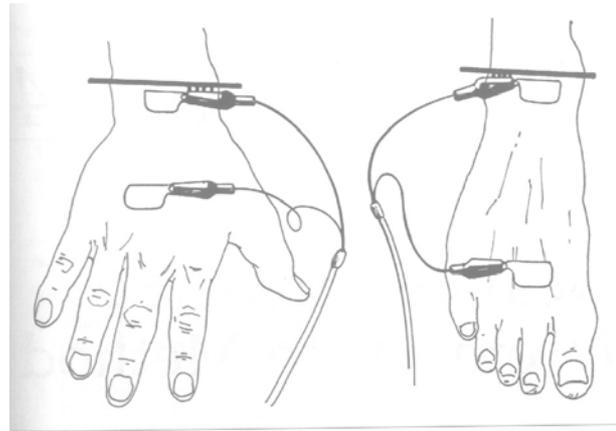
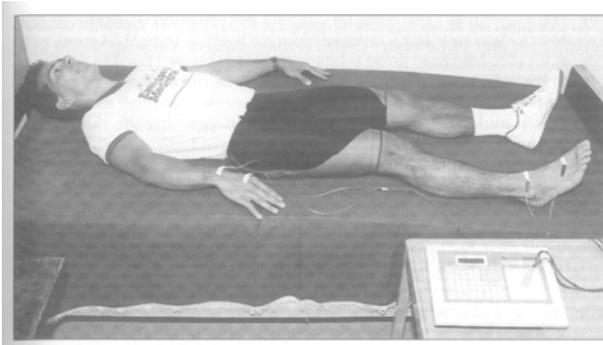
$$X = R^2 + X_c^2$$

En el cuerpo humano, la resistencia la constituye principalmente el agua y la masa muscular, el condensador lo constituyen las membranas celulares y la masa grasa, y el circuito los líquidos intra y extracelulares.

IMPEDANCIA → (Indirectamente) → % H₂O → (Indirectamente) → M.M. y M.G.

La resistencia y las reactancias se miden con un ohmímetro con cuatro electrodos (dos en las manos y dos en los pies, ver figura 96 y 97). La corriente utilizada suele ser de 800 uA y 50 kHz.

Los registros se tienen que incluir en una ecuación, que da la auténtica validez al método. Para ello, la ecuación tiene que ser de una población lo más próxima posible a la población que estudiamos.



Figuras 96 y 97.- Registro de la bioimpedancia y colocación de los electrodos en manos y pies (Forbes, 1987).

El principal inconveniente de este método es que considera la impedancia de la Masa Muscular como una constante, lo cual no es siempre cierto. Influye mucho el nivel de hidratación y los electrolitos del agua.



Hay aparatos bastante económicos (sobre unos 170 €) que estiman el porcentaje de grasa considerando la edad, la estatura y el sexo del sujeto. Sin embargo, suelen dar un porcentaje de masa grasa muy diferente al obtenido con las técnicas antropométricas.

Figura 98. Aparato de bioimpedancia OMROM BF 300.

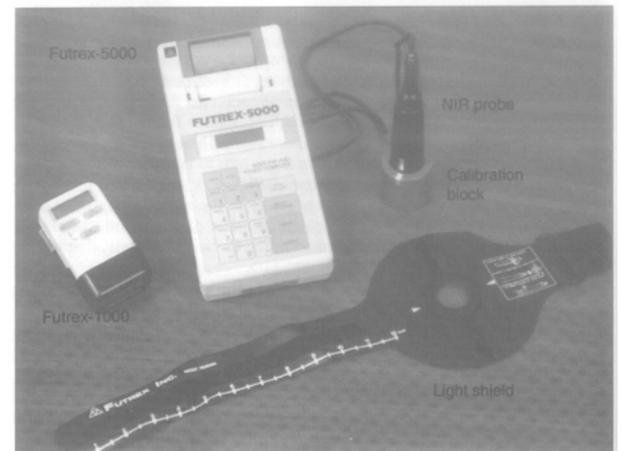
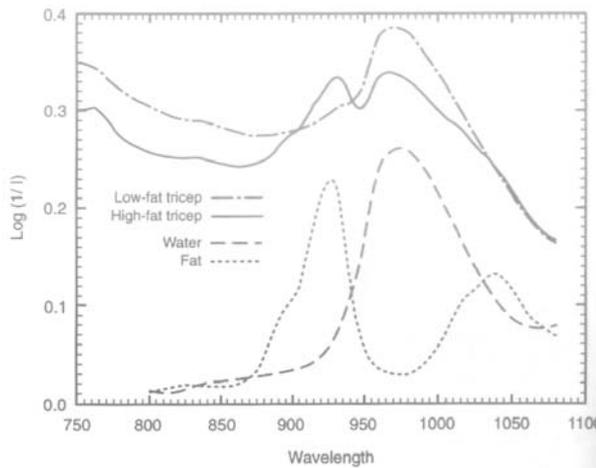
5.3.3.- N.I.R. (Reactancia a la luz subinfraroja).

Este método está basado en la distinta absorción de los materiales frente a una fuente luminosa. Se proyecta una luz con un espectro conocido y, posteriormente, se mide la reflexión, que, en cuerpos opacos, es la luz que no se absorbe.

Se sabe que la grasa absorbe, principalmente, longitudes de onda (λ) de 930 nm., mientras que el agua absorbe longitudes de onda (λ) de 970 nm. (Ver figura 99).

Existen tablas para estimar la masa grasa y magra según la talla, el peso, el sexo y la raza en función de la cantidad de luz absorbida. La correlación es de $r = 0,91$, frente a la densimetría y técnicas de medición de pliegues grasos.

El principal problema para generalizar esta técnica es que los espectrómetros comerciales (ver figura 100) son menos precisos (precisión de ± 50 nm) que los de laboratorio (± 5 nm).



Figuras 99 y 100.- Espectros de absorción del agua (línea discontinua) y de la grasa (línea continua), y modelo comercial de espectrómetro (Forbre, 1987).

5.3.4.- TÉCNICAS ANTROPOMÉTRICAS.

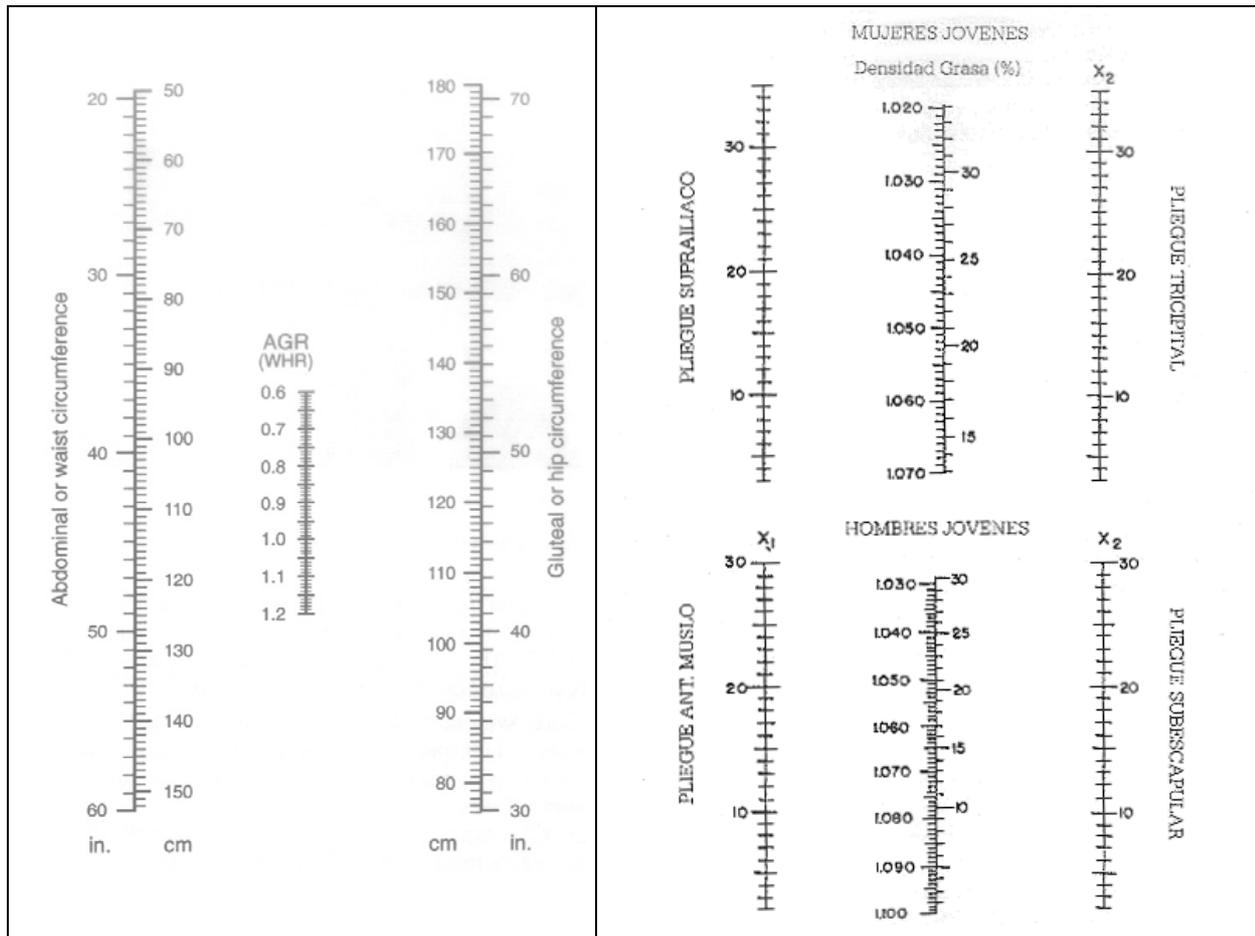
Existen distintos modelos antropométricos para estimar los diferentes componentes corporales por medio de técnicas antropométricas.

5.3.4.1- INDICES DE ADIPOSIDAD INDIRECTOS.

Existen en la bibliografía muchos nomogramas que, por medio de un número reducido de variables se puede estimar, de manera gráfica, la densidad corporal (o cualquier otra variable) que permite estimar el porcentaje de grasa del sujeto (ver figuras 101 y 102).

En general, las técnicas que utilizan pliegues grasos para la estimación del porcentaje de masa grasa, se consideran más válidas que las que utilizan otro cierto tipo de variables (como la estatura, el peso o el perímetro de cintura y el de cadera) para estimar, de forma indirecta, la densidad o el porcentaje de grasa del sujeto.

Hay un gran número de índices de adiposidad indirectos para estimar el porcentaje de grasa del sujeto. Como ejemplos de ellos podemos ver:



Figuras 101 y 102.- Ejemplos de nomogramas para el cálculo del índice cintura-glúteo, y de la densidad corporal y % de masa grasa mediante técnicas antropométricas (Forbes, 1987 y Esparza, 1993).

- EL INDICE DE QUETELET (1833) Ó ÍNDICE DE MASA CORPORAL Ó B.M.I.

$$IC = \text{Peso} / \text{Talla}^2$$

Su principal inconveniente es el considerar que todo exceso de peso respecto a lo normal se debe a un aumento de la masa grasa, algo que no es cierto en algunas razas por su mayor densidad corporal, en deportistas y, especialmente, en culturistas. (Ver figura 103).

La debilidad del I.M.C. también se pone de manifiesto cuando se consideran las tablas de peso ideal establecidas con este índice (Figura 104)

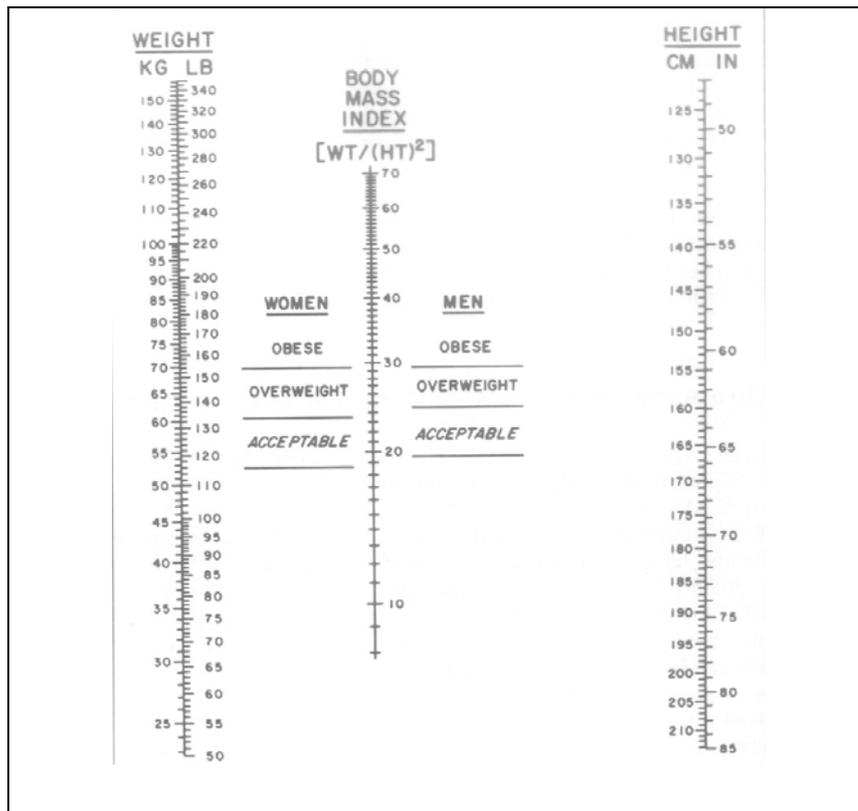


Figura 103.- Nomograma para calcular el Índice de masa corporal.

	Altura (cm)	Peso mín.	EMI Peso mín (kg)	Peso máx.	EMI Peso máx (kg)	EMI dispersión (máx-mín)
HOMBRES	155.5	58.3	24.1	68.3	28.2	4.1
	160.5	60.0	23.3	71.1	27.6	4.3
	165.5	61.8	22.6	74.7	27.3	4.7
	170.5	63.8	21.9	78.2	26.9	5.0
	175.5	65.4	21.2	81.8	26.6	5.3
	180.5	67.7	20.8	85.4	26.2	5.4
	185.5	70.3	20.4	89.4	26.0	5.6
	190.5	73.5	20.3	93.9	25.8	5.6
	Media		21.8		26.8	5.0
MUJERES	145.5	46.4	21.9	59.8	28.2	6.3
	150.5	47.4	20.9	62.4	27.5	6.6
	155.5	49.3	20.4	65.3	27.0	6.6
	160.5	51.9	20.1	68.8	26.7	6.6
	165.5	54.6	19.9	72.4	26.4	6.5
	170.5	57.3	19.7	75.9	26.1	6.4
	175.5	60.0	19.5	78.6	25.5	6.0
	180.5	62.6	19.2	81.2	24.9	5.7
	Media		20.2		26.6	6.4

Figura 104.- I.M.C. correspondientes a los pesos máximos y mínimos recomendados.

En la actualidad, el índice ponderal ($\text{Estatura}^3/\text{Peso}$) se considera más apropiado el BMI debido a su congruencia dimensional. Sin embargo, el I.M.C. se sigue utilizando en algunas compañías de seguros para estimar si el cliente tiene riesgo de padecer una enfermedad (ver figura 105).

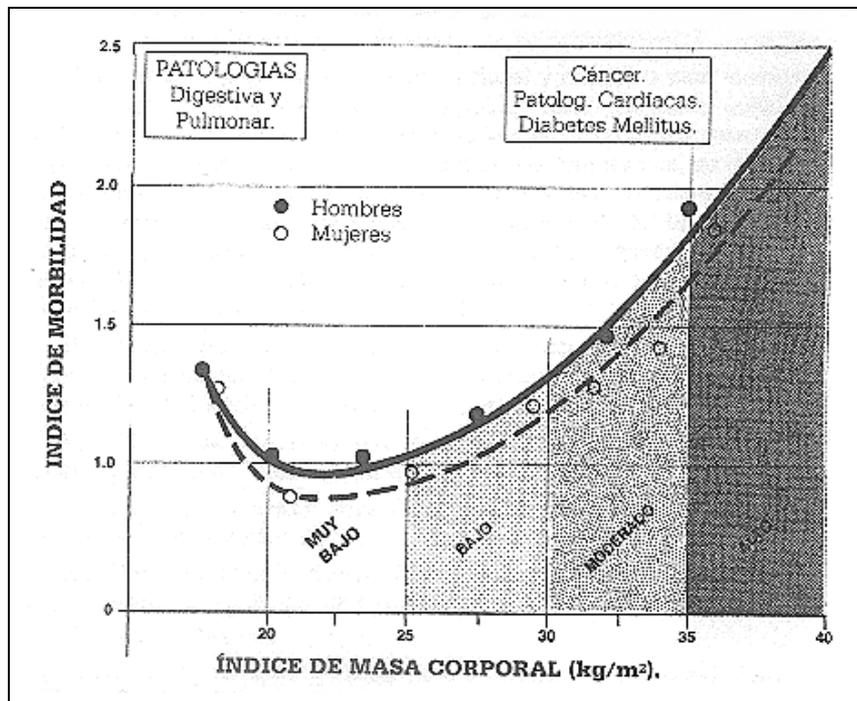


Figura 105.- Calificación del riesgo del sujeto a padecer enfermedades en función del I.M.C. (Esparza, 1993).

- EL ÍNDICE CINTURA/GLÚTEO.

En la Figura 101, podemos ver un nomograma para calcular el índice cintura-glúteo. Se entiende que el sobrepeso en mujeres entre 40 y 49 años estaría en un valor "0,8", mientras que en hombres sería "0,95". Es obvio que el fallo de este método será la posibilidad de que la grasa se localice en lugares diferentes a la cintura y el abdomen.

Independientemente del método utilizado, se considera que el porcentaje de grasa ideal en un hombre está entre el 8 y el 15 % de su masa corporal total, mientras que en la mujer estará entre un 13 y un 20%. En la figura 106, se muestran valores normales de masa grasa para distintos deportistas y para sujetos normales. Valores inferiores a los normales son difíciles de mantener y pueden traer como consecuencia alteraciones en el estado de ánimo del sujeto. En ciertos momentos de la preparación del deportista, los niveles de masa grasa pueden ser inferiores a los normales. Habrá que tener en cuenta que el deportista puede manifestar cambios de carácter e irascibilidad en esos momentos y que, en mujeres, se pueden producir trastornos en la

menstruación, debido a que el organismo detiene la ovulación si el cuerpo de la mujer no está preparado para concebir un hijo.

EL PORCENTAJE DE GRASA IDEAL		
CLASIFICACIÓN SEGÚN PORCENTAJE		
Clasificación	Hombres	Mujeres
Delgado	< 8%	< 15%
Óptimo	8-15%	13-20%
Ligero Sobrepeso	16-20%	21-25%
Sobrepesado	21-24%	25-32%
Obeso	≥ 25%	≥ 32%
Corredores de larga dist.	4-9%	6-15%
Luchadores	4-10%	-----
Gimnastas	4-10%	10-17%
Culturistas (Élite)	6-10%	10-17%
Nadadores	5-11%	14-24%
Jugadores de basket	7-11%	18-27%
Remo	11-15%	18-24%
Tenistas	14-17%	19-22%

Figura 106.- Porcentajes de grasa de sujetos normales y distintos deportistas.

5.3.4.2- MÉTODOS ANTROPOMÉTRICOS.

Son el método más utilizado en la valoración de la composición corporal. Matiegka (1921), desarrollo el modelo de 4 componentes; sin embargo, entre 1932-1935 se comenzó a utilizar más el modelo de 2 componentes (Masa Magra y Masa Muscular).

Brozek y Keys (1951) publicaron las primeras fórmulas de predicción de la masa grasa por medio de pliegues cutáneos. En 1965, Von Döbeln desarrolló una ecuación para el cálculo del peso óseo, modificada posteriormente por Rocha (1974), dando origen el modelo de 3 componentes.

$$P.O (Rocha) = 3,02 \times (Talla^2 \times \varnothing \text{ Estiloides} \times \varnothing B. \text{ Femur} \times 400)^{0,712}$$

Posteriormente, Behnke (1959) propuso un método de valoración de la composición corporal en función de un modelo cilíndrico. Consideró la densidad del cuerpo como 1,000 g/ml entendiendo que la masa del cuerpo era igual al volumen del sujeto. Sobre esta idea, desarrolló una compleja fórmula para estimar la Masa Magra del sujeto:

$$M.Magra (Fem) = D^2 \times H^{0,7} \times 0,255$$

$$M.Magra (Masc) = D^2 \times H^{0,7} \times 0,263$$

Donde,

$$D = \Sigma (\emptyset \text{ biacromial} + \emptyset \text{ bicrestal} + \emptyset \text{ muñeca} + \emptyset \text{ tobillo}) / K$$

Siendo,

$$K = \Sigma (11 \emptyset \text{ en una muestra patrón}) / R_{corp}$$

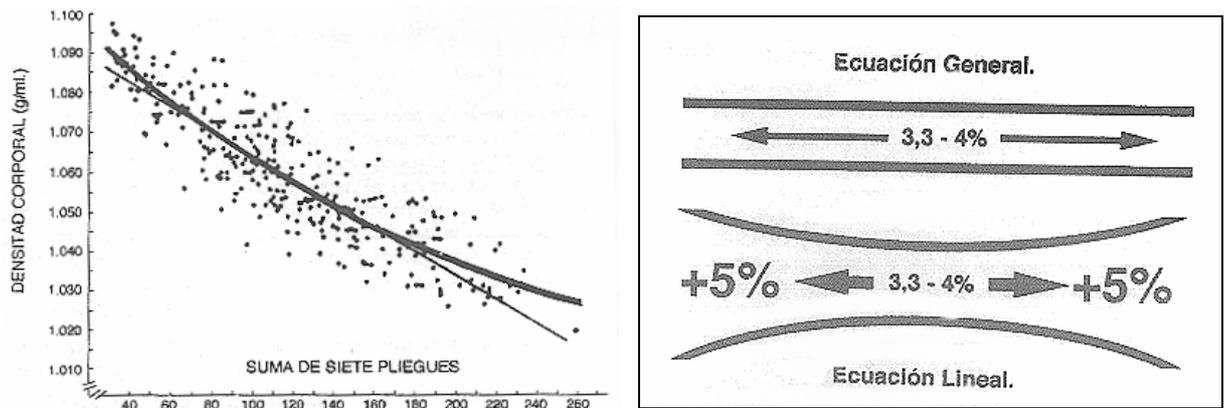
Y,

$$R_{corp} = (\text{Peso} / \pi \times \text{Talla})^{0,05}$$

A partir de los años 70, con la aparición de los ordenadores personales, se desarrollaron un gran número de ecuaciones de regresión. En general, hay que considerar que a mayor número de variables, mayor es la precisión y la especificidad de dicha ecuación.

En este punto hay que considerar dos tipos de ecuaciones: las **lineales** que consideran una sólo variable y la ecuación de regresión corresponde a una línea recta, y las **generales**, que pueden tener más de un coeficiente (o variable) y un orden (índice al que está elevado la variable) superior a dos.

Las ecuaciones lineales no tienen en cuenta los cambios producidos por variables como la edad, ni las diferentes distribuciones del tejido subcutáneo y las vísceras. Esto origina que tengan mayores errores en los valores extremos que en los centrales (Ver figura 107). Las fórmulas generales disminuyen el error en los valores extremos. En algunos casos, las fórmulas generales con dos o más variables se pueden ver resumidas en nomogramas como los de la Figura 108.



Figuras 107 y 108.- Ecuaciones de regresión lineal y ecuaciones generales (Esparza, 1993).

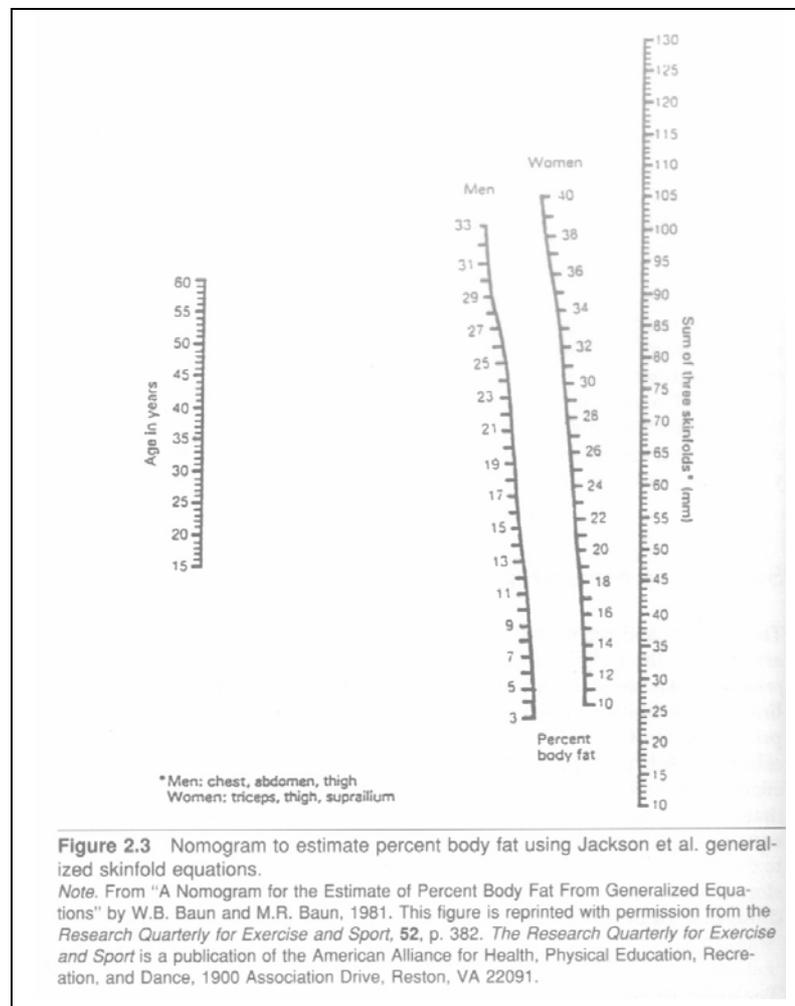


Figura 109.- Nomograma para estimar el porcentaje de masa grasa en hombre y mujeres en función de la edad y la suma de tres pliegues (pecho, abdomen y muslo en hombres, y tríceps, muslo y suprailiaco en mujeres.). Nota: dirigirse a la referencia, R.Q.E.S, 52, p. 382 (1981), para las técnicas de medición. (Forbes, 1987)

Yuhasz, en 1974, editó una fórmula para el cálculo del porcentaje de masa grasa en jóvenes de edades comprendidas entre los 18 y 30 años, que es la fórmula que más se utiliza actualmente para el cálculo de la masa grasa, pues tiene distintas fórmulas para mujeres y para hombres:

$$\% \text{ M.G. (Fem)} = 4,56 + (\sum 6 \text{ pliegues (mm)} \times 0,143)$$

$$\% \text{ M.G. (Masc)} = 3,64 + (\sum 6 \text{ pliegues (mm)} \times 0,097)$$

Donde los pliegues son: Tríceps, Subescapular, Suprailiaco (2 cm por delante de línea axilar media), Abdominal, Muslo Anterior y Pierna.

- PROPUESTA DE "DE ROSE Y GÜIMARAES".

Este modelo establece cuatro componentes que se obtienen a través de las siguientes fórmulas:

- Masa Grasa (Faulkner)

$$\% \text{ MG} = (\sum 4 \text{ pliegues} \times 0,153) + 5,783$$

En la que los pliegues son: Tríceps, Subescapular, Suprailiaco y Abdominal.

- Masa Osea (Rocha)

$$\text{P.O} = 3,02 \times (\text{Talla}^2 \times \text{Ø Estil} \times \text{Ø B. Fem} \times 400)^{0,712}$$

- Masa Residual (Wurch)

$$\text{P.R} = \text{P}_{\text{tot}} \times 24,1 / 100 \text{ (Chicos)}$$

$$\text{P.R.} = \text{P}_{\text{tot}} \times 20,9 / 100 \text{ (Chicas)}$$

- Masa Muscular (Matiegka)

$$\text{P.M (Kg)} = \text{P}_{\text{total}} - (\text{PG} + \text{PO} + \text{PR})$$

Galiano propuso una corrección al modelo de De Rose y Güimaraes, corrigiendo las fórmulas de Faulkner según el sexo:

$$\% \text{ M.G. (Fem)} = \text{valor Faulkner} - 6,465 / 0,249$$

$$\% \text{ M.G. (Masc)} = \text{valor Faulkner} - 6,036 / 0,272$$

- PROPUESTA DEL G.R.E.C.

El Grupo Español de Cineantropometría utiliza el método de De Rose y Güimaraes, pero calculando el porcentaje de masa grasa con las fórmulas de Yuhasz:

$$\% \text{ M.G. (Fem)} = 4,56 + (\sum 6 \text{ pliegues (mm)} \times 0,143)$$

$$\% \text{ M.G. (Masc)} = 3,64 + (\sum 6 \text{ pliegues (mm)} \times 0,097)$$

- PROPUESTA DE DRINKWATER.

Este método utiliza grupos de variables (correspondientes a cada componente) ajustadas al modelo Phantom para, posteriormente, utilizar el valor medio "Z" de dichas variables para estimar el valor de cada componente "V". Para ello, introduce dicho valor "Z" en la fórmula general del modelo Phantom (Drinkwater y Ross, 1980)

$$Z = \frac{\left[v \times \left(\frac{170,18}{E} \right)^d - p \right]}{s}$$

Los grupos de variables son:

MASA GRASA: Pliegue del Tríceps, Pliegue Subescapular, Pliegue Supraespinal, Pliegue Abdominal, Pliegue del Muslo, Pliegue de la Pierna.

MASA RESIDUAL: Diámetro Biacromial, Diámetro Biileocrestal, Diámetro Transverso del Tórax, Diámetro Antero-posterior del Tórax.

MASA OSEA: Diámetro Biepicondilar del Fémur, Diámetro Biepicondilar del Húmero, Perímetro de la Muñeca, Perímetro del Tobillo.

MASA MUSCULAR: Perímetro del Brazo Relajado (* Pliegue Tríceps), Perímetro del Antebrazo, Perímetro del Tórax (* Pliegue Subescapular), Perímetro del Muslo (* Pliegue Muslo), Perímetro de la Pierna (* Pliegue Pierna Medial).

Los perímetros indicados con asterisco (*) están corregidos con los pliegues cutáneos correspondientes multiplicados por "π".

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FISICA Y DEL DEPORTE (I.N.E.F)
UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID

El método es bastante cuestionable si se aplica en niños, ya que no se incluyeron en la muestra del Phantom. Además, su validez depende de la consistencia del modelo Phantom, el cual no tuvo en cuenta las diferencias de densidades entre tejidos.

- MÉTODO “O-SCALE”.

La virtud de este método concebido por Ross y Ward en 1985, es que diferencia 44 grupos de edad y sexo, desde jóvenes a adultos. Contó con una base de datos muy amplia (n=24.000) y proporciona información en valor absoluto y relativo (en forma de percentiles) de las distintas variables y componentes.

Los valores de las variables son relativos a una altura de referencia (170,18 cm) y compara los resultados de la masa grasa por tres métodos (Yuhasz, Sloan y Durin-Womersley).

Tiene una versión corta que precisa de la talla, el peso, 6 pliegues, y tres perímetros, y otra completa (talla, peso, 8 pliegues, 10 perímetros y 2 diámetros óseos).

VALORACION DE LA COMPOSICION CORPORAL

MÉTODOS		Seguridad del sujeto	Adaptación del sujeto	Material necesario.	Método.	Coste Económico.	Funcionalidad.	Validez.	
DIRECTOS	DISECCIÓN Anat.	0	0	2	5	1	0	5	
INDIRECTOS	FÍSICO-QUÍMICOS	PLETIS. y ABS. G. N.	4	1	1	3	1	1	3
		DILUCIÓN ISOTÓP.	4	3	2	2	2	2	3
		ESPECTRO. FOTON.	2	3	2	3	2	2	3
		ACTIVACIÓN NEUT.	3	2	1	2	1	1	3
		EXCRECIÓN CREAT.	4	3	3	3	3	3	2
	IMAGEN	RADIOLOGÍA	1	2	1	2	1	1	2
		ULTRASONIDOS	4	4	2	3	2	3	2
		T.A.C.	1	1	0	2	0	1	4
		R.M.N.	4	2	0	2	0	2	4
		DENSIOMETRÍA	3	1	2	2	2	2	4
DOBLE INDEEC.	ANTROP.	T.O.B.E.C.	3	4	0	3	0	1	4
		N.I.R.	5	5	4	4	3	3	2
		B.I.E.	3	4	3	4	3	3	3
	ANTROP.	ÍND. MASA y/o ADIP.	5	5	6	5	5	5	1
		ECUA. REGRESIÓN	5	4	4	3	4	4	4

Una variación de este método es la “OZ-Scale” que se desarrolló en Australia para adaptarlo a las características de la población australiana.

Como final de este capítulo, uno se podría cuestionar qué método es el más apropiado para valorar la composición corporal.

La respuesta estaría en función de muchos factores que están resumidos en la Figura 110.

En el caso de la masa grasa, también habría que considerar la localización de la grasa que se quiere medir (Ver figura 111).

Figura 110.- Valoración de los métodos de estudio de la composición corporal.

ESPECIFICIDAD		DEPÓSITOS DE GRASA		
		TEJIDO ADIPOSÓ		GRASA ESENCIAL
		SUBCUTANEO	VISCERAL	
ANTROPOMETRÍA	PLIEGUES GRASOS	XXX		
	PERÍMETRO y DIÁM.	X	X	
IMAGEN	ULTRASONIDOS	XXX		
	T.A.C.	XXX	XXX	
	R.M.N.	XXX	XXX	
	DENSIOMETRÍA	XX	XX	XX
	IMPEDANCIA BIOELÉC. H ₂ O y K	X	X	X
	MET. FÍSICO-QUÍMICOS	X	X	X

Figura 111.- Especificidad de los distintos métodos de valoración corporal.

5.4. BIBLIOGRAFÍA.

- Drinkwater, D. y Ross, W.D. (1980) Antropometric fractionation of body mass. En Ostyn, W, Beunen, G. y Simons, J. (Editores). Kinanthropometry II. (pp. 177-188). Baltimore: University Park Press.
- Forbes, G.B. (1987) Human Body Composition (Growth, Aging, Nutrition and Activity). New York: Springer-Verlag.
- Esparza, F. (Ed) (1993). Manual de Cineantropometría. Pamplona: (GREC) FEMEDE.
- Norton, K. y Olds, T. (2000) Antropometrica. Rosario, Argentina: Biosystem.