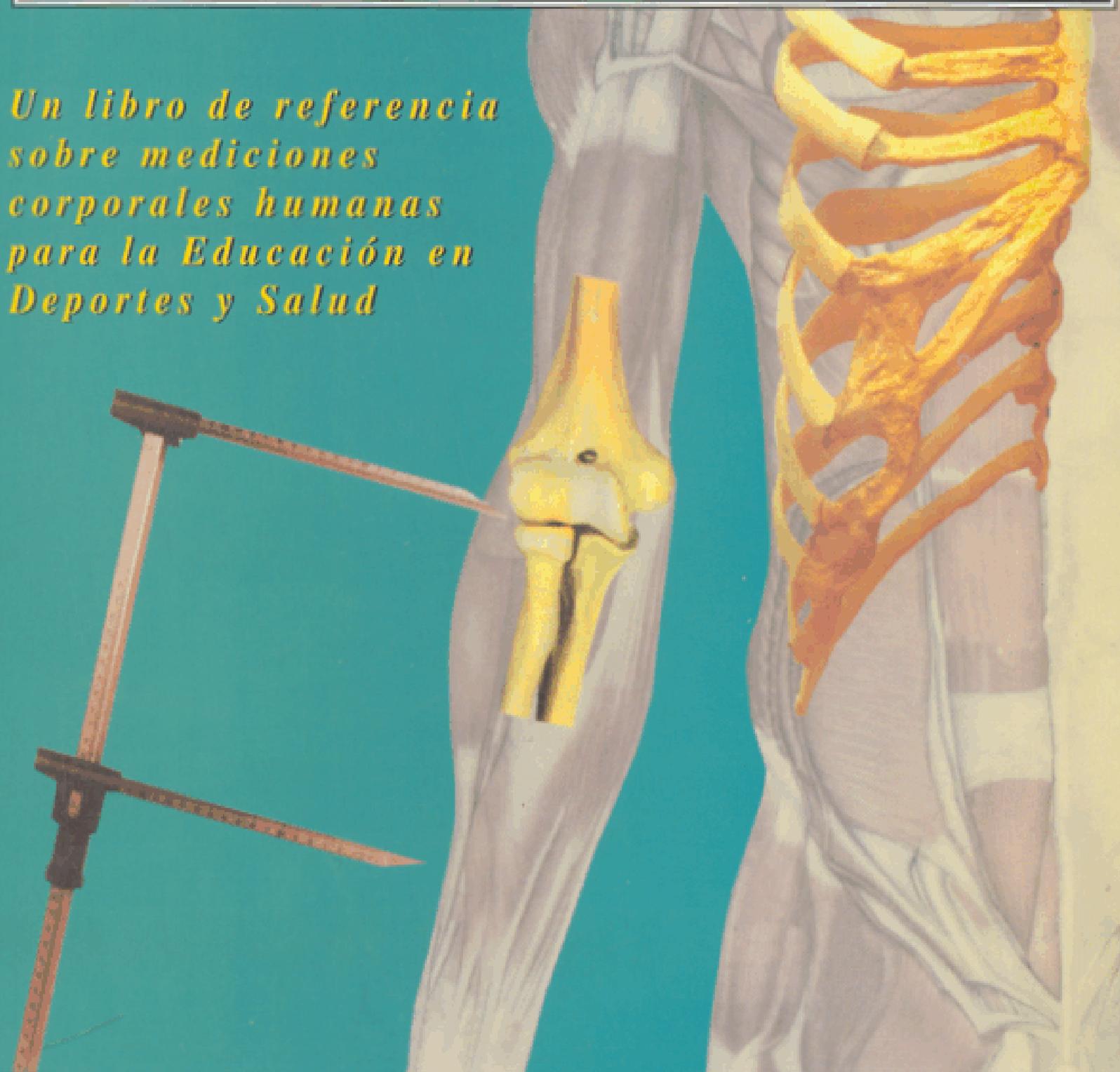


# ANTROPOMETRICA

*Editores: Kevin Norton y Tim Olds*

*Un libro de referencia  
sobre mediciones  
corporales humanas  
para la Educación en  
Deportes y Salud*



*Edición en español:  
Dr. Juan Carlos Mazza*



**BIOSYSTEM**  
Servicio Educativo

*Rosario - Argentina*

# ANTROPOMETRICA

*Editores: Kevin Norton y Tim Olds*

Un libro de referencia sobre mediciones corporales humanas para la Educación en Deportes y Salud

---

Edición en Español: Dr. Juan Carlos Mazza

---

## **BIOSYSTEM**

Servicio Educativo  
Rosario – Argentina

- *Título original de la obra:* ANTHROPOMETRICA, Kevin Norton & Tim Olds, Editors
- *Publicado originalmente por:* University of New South Wales Press, Sidney 2052 Australia, Tel: (02) 398-8900, Fax: (02) 398-3408.
- *Primera impresión en idioma inglés (1996):* Impreso por Southwood Press, Marrickville, NSW, Australia (ISBN original: 0-86840-223-0)
- *Derechos de Traducción y Publicación al Idioma Español adquiridos por:* BIOSYSTEM Servicio Educativo. Rosario, República Argentina
- *Editor:* Juan Carlos Mazza
- *Traducción y compaginación:* Gabriela Cuesta, Miguel Palma y Boris Trumper
- *Diseño gráfico y técnico:* Mónica Monestes y Betiana Mattano
- *Impreso por:* Impresiones Módulo S.R.L. (Rosario, Argentina)

ISBN 987-953S0-3-X

Todos los derechos reservados. Queda expresamente prohibido que este material pueda ser reproducido, almacenado en sistemas computados, o transmitido de alguna forma electrónica, mecánica, por fotocopia o por grabación, sin el expreso permiso correspondiente, por escrito, de la Editorial que posee los derechos adquiridos del copyright (Biosystem Servicio Educativo)



Versión Digital por el Grupo Sobre Entrenamiento  
<http://www.sobreentrenamiento.com>

# INDICE

## Sección 1: Medición y Técnicas de Medición

### Capítulo 1

#### Anatomía esencial para antropometristas

*Michael Marfell-Jones*

1. Introducción	7
2. Terminología	7
3. El esqueleto	8
4. Los músculos	18
5. Referencias bibliográficas	22

### Capítulo 2

#### Técnicas de Medición en Antropometría

*Kevin Norton, Nancy Whittingham, Lindsay Carter, Deborah Kerr,*

*Christopher Gore, y Michael Marfell-Jones*

1. Introducción	23
2. El sujeto	23
3. Recolección de datos	24
4. Equipo antropométrico	24
5. El perfil antropométrico	27
6. Referencias bibliográficas	59

### Capítulo 3

#### Error en la Medición Antropométrica

*David Pederson y Christopher Gore*

1. Introducción	61
2. Variables de precisión y confiabilidad - ETM y CCI	62
3. La obtención de los datos de confiabilidad	63
4. Tablas de datos a una y a dos vías	63
5. Cálculo del ETM y CCI con dos mediciones por sujeto	64
6. Cálculo del ETM y CCI con tres mediciones por sujeto	66
7. Interpretación y aplicación del ETM y del CCI	67
8. Marco teórico	68
9. Referencias bibliográficas	69

### Capítulo 4

#### Calibración de los Calibres de Pliegues Cutáneos Harpenden

*Robert Carlyon, Christopher Gore, Sarah Woolford, y Robert Bryant*

1. Introducción	71
2. Descripción del calibre	72
3. Métodos de calibración de la presión de los platillos	72
4. Calibración de la separación entre platillos	80
5. Conclusiones y recomendaciones	83
6. Referencias bibliográficas	84

## Sección 2: Herramientas para el Análisis

### Capítulo 5

#### Sistemas de Similitud en Antropometría

*Tim Olds, Kevin Norton, Sen Van Ly, y Liz Lowe*

1. Introducción	85
2. Modelos teóricos para relacionar variables antropométricas	85
3. Tipos de sistemas de similitud	88
4. Aplicaciones de los sistemas de similitud en antropometría	89
5. Resumen y recomendaciones	96
6. Referencias bibliográficas	96

### Capítulo 6

#### Somatotipo

*Lindsay Carter*

1. Introducción	99
2. Método antropométrico del somatotipo de Heath-Carter	100
3. Referencias bibliográficas	115

<b>Capítulo 7</b>	
<b>Estimación Antropométrica de la Grasa o Adiposidad Corporal</b>	<b>116</b>
<i>Kevin Norton</i>	
1 Introducción	116
2 Cambios en la grasa corporal a lo largo de la vida.	116
3 La utilización de ecuaciones de regresión para predecir la densidad y la grasa corporal	116
4 Aplicación de las ecuaciones de predicción	126
5 El control o monitoreo de los pliegues cutáneos y otros índices de composición corporal	126
6 Resumen	127
7 Apéndice - Ecuaciones de predicción	127
8 Referencias bibliográficas	134
<b>Capítulo 8</b>	
<b>Modelos Químicos de Análisis de la Composición Corporal de Dos, Tres y Cuatro Compartimentos</b>	<b>137</b>
<i>Robert Withers, Joe Laforge, Steven Heymsfield, Ai-Mian Wang y Robyn Pillans</i>	
1 Modelos de dos compartimentos	137
2 Modelos de tres compartimentos	146
3 Modelos de cuatro compartimentos	148
4 Modelos más complejos y desarrollos futuros	152
5 Referencias bibliográficas	153
<b>Sección 3: Aplicaciones de la Antropometría</b>	
<b>Capítulo 9</b>	
<b>La Psicología y la Antropometría de la Imagen Corporal</b>	<b>157</b>
<i>Shelley</i>	
Qué es la «imagen corporal»?	157
Consideraciones metodológicas	158
Estudios de imagen corporal	161
Imagen corporal y comportamiento	166
Direcciones futuras: investigación sobre la imagen corporal y la antropometría	167
Referencias bibliográficas	167
<b>Capítulo 10</b>	
<b>Ergonomía: Aplicación de la Antropometría al Diseño del lugar de Trabajo</b>	<b>172</b>
<i>Kamal Kothiyal</i>	
Introducción	172
La Antropometría en la Ergonomía	173
Diseño del lugar de trabajo	180
Bases computadas de datos antropométricos	184
Referencias bibliográficas	185
<b>Capítulo 11</b>	
<b>Antropometría y Performance Deportiva</b>	<b>188</b>
<i>Kevin Norton, Tim Olds, Scott Olive, y Neil Craig</i>	
1. El concepto de optimización morfológica	188
2. Proporcionalidad, forma corporal, y performance	197
3. Evolución del tamaño corporal del ser humano	223
4. Resumen	235
5. Referencias bibliográficas	236
<b>Capítulo 12</b>	
<b>Antropometría, Salud y Composición Corporal</b>	<b>245</b>
<i>Peter Abernethy, Tim Olds, Barbara Eden, Michelle Neill y Linda Baines</i>	
1. La relación entre salud, composición corporal y antropometría	245
2. Índices antropométricos superficiales del estado de salud	245
3. Recomendaciones: un sistema de perfil con múltiples pasos	255
4. Conclusión	257
5. Referencias bibliográficas	259
<b>Sección 4: Acreditación en Antropometría</b>	
<b>Capítulo 13</b>	
<b>Acreditación en Antropometría: Un Modelo Australiano</b>	<b>263</b>
<i>Christopher Gore, Kevin Norton, Tim Olds, Nancy Whittingham, Kim Birchall, A4elissa Clough, Briony Dickerson, and Loretta Downie</i>	
1. Introducción	263

2.	Normas de acreditación	264
3.	Objetivo o meta del ETM (“TEMs target”): requerimientos y razones	268
4.	Lineamientos y guías para determinar los ETM	272
5.	Referencias bibliográficas	273

## PREFACIO

La antropometría es una ciencia muy antigua y, como muchas ciencias antiguas, ha seguido distintos caminos. La diversidad de los caminos antropométricos constituye tanto su riqueza como su cruz. Mientras preparábamos este libro, nos sorprendió el hecho de que los grupos de antropometristas que trabajan en diferentes áreas hayan estado marchando en forma paralela, sin siquiera encontrarse. Estos grupos incluyen nutricionistas, ergonomistas, psicólogos, y científicos del deporte, entre otros. La ergonomía, por ejemplo, ha desarrollado un detallado repertorio de sitios y técnicas que se asemejan a las utilizadas en las Ciencias del Ejercicio, a pesar de que se basan más en los tejidos blandos. Sin embargo, la mayoría de los ergonomistas pueden no tener conocimiento del trabajo antropométrico desarrollado en otras ciencias así como muchos otros científicos pueden no estar familiarizados con la antropometría ergonómica.

Una consecuencia de las múltiples tradiciones antropométricas ha sido la falta de estandarización en la identificación de los sitios de medición, y de las técnicas de medición. Por ejemplo, existe en la literatura más de catorce definiciones diferentes de cómo medir el cociente cintura-cadera, el cual es, no obstante, un índice importante de riesgo cardiovascular. Los lugares y los nombres de los pliegues cutáneos han sido de gran preocupación, particularmente los de las regiones ilíaca y abdominal. La estatura, la más básica de todas las mediciones antropométricas, ha sido determinada utilizando técnicas de parado, semi-elongado, y elongado, y con una gran diversidad de instrumentos de medición.

La falta de estandarización hace dificultosas y frustrantes las comparaciones a través del tiempo y del espacio. Uno de los principales objetivos de este libro ha sido desarrollar un perfil antropométrico básico que forme consenso, un perfil que pueda ser utilizado en todo el mundo. En una era en la cual cualquier lugar del mundo está a un paso a través del correo electrónico, será posible establecer bases de datos antropométricos nacionales e internacionales, en forma electrónica. Desde hace dos años existe una base de datos en Australia, con disponibilidad de acumulación electrónica.

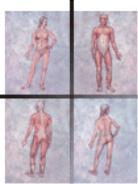
Un segundo objetivo ha sido crear un libro de texto que contenga los temas fundamentales para los estudiantes de antropometría, y que les permita ser asesorados, evaluados y acreditados. El primer bosquejo de acreditación en Australia lo estableció la Comisión de Deportes de Australia, en 1994. Esta importante dimensión del control de calidad de la antropometría está reforzada por una meticulosa descripción de las técnicas, tolerancias de error de referencia, y métodos analíticos. Estos lineamientos han sido adoptados por instituciones deportivas y universidades, y respaldados científicamente por diversas organizaciones profesionales.

Finalmente, queremos poner énfasis en la diversidad de aplicaciones que tiene la antropometría - en nutrición, salud, psicología, ergonomía, y deportes. Hay otros capítulos que nos hubiera gustado incluir - sobre la aplicación de la antropometría en los niños y los ancianos, los aspectos médicos del crecimiento y del desarrollo, las tendencias seculares, la biomecánica, la representación del cuerpo en el arte y el cine a través de la historia, y sobre los aspectos económicos de la estatura y el peso. Estos temas tendrán que esperar a una Segunda Edición.

Hay muchas personas a las cuales debemos agradecer por la ayuda en la preparación de este libro. Queríamos agradecer especialmente a nuestros diseñadores gráficos Sophia Arab y Andrew Medhurst, y a los estudiantes que incansablemente nos han ayudado en la recolección de la información y control de los manuscritos: Anthony Gillespie, Eric Hunter, y Rod Russell. Agradecemos también a Sen Van Ly y a Doanh Dang por su invaluable asistencia técnica.

**Kevin Norton, PhD**  
**Tim Olds, PhD**

# CAPÍTULO 1



## ANATOMIA ESENCIAL PARA ANTROPOMETRISTAS

Michael Marfell-Jones

### 1. INTRODUCCION

Para convenirse en un antropometrista competente, se necesita conocer la anatomía básica del cuerpo humano. La razón más obvia de esta necesidad es que la mayoría de los términos antropométricos derivan de puntos anatómicos pero, más importante aún, el conocimiento de la anatomía es esencial para facilitar la búsqueda de las marcas de referencia y brindar un apoyo teórico a las decisiones subjetivas necesarias para localizarlas.

Este capítulo está diseñado para introducir al lector en el esqueleto humano ~ extender tal conocimiento al campo de la estructura muscular, de manera que el lector tenga una idea básica de los dos sistemas que más contribuyen a la forma natural o morfología del cuerpo.

### 2. TERMINOLOGIA

Una característica extremadamente atractiva de estudiar la anatomía es que la información básica no cambia con el avance de la ciencia. Ciertamente, pequeñas cantidades de nuevos conocimientos surgen a la luz de vez en cuando, pero el gran porcentaje de lo que uno aprende no va a cambiar en los próximos 100 años, de manera que uno necesita aprenderlo una vez. El desafío es que la anatomía tiene un lenguaje propio, y para lograr algún beneficio a partir de su estudio, se deben aprender los términos anatómicos. Sin embargo, una vez que se aprenden dichos términos y se comprende su significado, el cuerpo humano se vuelve no sólo estructuralmente familiar, sino también funcionalmente obvio. Para facilitar este proceso, los términos anatómicos que necesitan ser memorizados están impresos y remarcados en **negrita>.**

Casi todos los términos anatómicos modernos son derivados del latín y del griego (ya que esos fueron los idiomas de los anatomistas precursores anatomistas más importantes). Sin embargo, aquellos lectores que no tengan el beneficio de una educación clásica no

estarán en desventaja y rápidamente se familiarizarán con el uso correcto de cualquier nueva terminología.

Así como con el aprendizaje de los nombres anatómicos del esqueleto individual básico y de las estructuras musculares, el lector también tendrá que familiarizarse con los términos utilizados para describir la posición de una estructura, o parte de una estructura, con relación a otra estructura, o a otra parte del cuerpo. Esto es fundamental para tener una noción acabada de la naturaleza tridimensional del cuerpo humano y para poder determinar con precisión los puntos específicos del cuerpo a los que hacen referencia anatomistas y antropometristas.

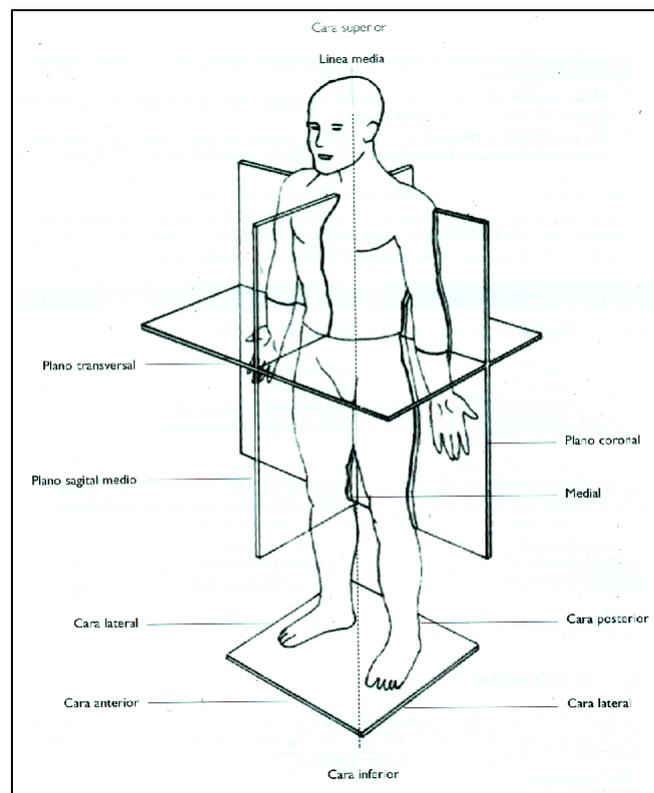


FIGURA 1. Los planos del cuerpo humano.

La Figura 1 muestra un cuerpo humano en lo que se denomina la “posición anatómica”. Esta se define como la posición del cuerpo vivo, parado en forma

erecta, con los brazos a los costados y las palmas hacia adelante (Basmajian, 1982).

[Todas las descripciones anatómicas de las partes del cuerpo se refieren a esta posición, independientemente de la posición que pueda tener el cuerpo, en un momento determinado. Por ejemplo, la rodilla anatómicamente es siempre inferior (por debajo) a la cadera, aún a pesar de que durante la fase de extensión total del brazo, estando en posición de parado, la rodilla esté funcionalmente por encima de la cadera].

El cuerpo puede dividirse a través de varios planos, siendo los tres planos “standards” o típicos, los siguientes:

- Plano **sagital**, el cual divide al cuerpo en partes derecha e izquierda (cuando éstas son iguales, el plano es el **sagital medio**).
- Plano **coronal** o **frontal**, el cual divide al cuerpo en partes anterior y posterior.
- Plano **transversal** u **horizontal**, el cual divide al cuerpo en partes superior e inferior.

Estos planos se muestran en la Figura 1. En la Figura 1 también aparecen muchos de los términos anatómicos utilizados para describir la posición relativa, y sus significados son obvios. Estos significados están confirmados en la Tabla 1, en donde se dan las definiciones. Como puede observarse, estos términos vienen en pares recíprocos.

Termino	Definición
Superior	Encima de
Inferior	Debajo de
Lateral	Más lejos de la línea central
Medial	Más cerca de la línea central
Anterior (o ventral)	Hacia o en el frente
Posterior (o dorsal)	Hacia atrás o detrás
Proximal*	Más cerca del punto de inserción en el tronco
Distal	Más lejos del punto de inserción en el tronco
Superficial	Más cerca de la superficie
Profundo	Más lejos de la superficie
Ipsilateral	En la misma cara o lado
Contralateral	En la cara o lado contrario

**TABLA 1.** Términos anatómicos y definiciones

\* Nota: “proximal” y “distal” solamente se usan con relación a las extremidades.

### 3. EL ESQUELETO

Se puede considerar que el esqueleto tiene dos regiones. Se dice que los huesos que forman la

columna central del cuerpo son parte del **esqueleto axial**. Este está compuesto por:

- los huesos del **cráneo** y el **maxilar Inferior**
- las **vértebras**
- las **costillas** y el **esternón**

Los huesos del cráneo y del maxilar inferior, junto con las primeras siete vértebras (**cervicales**) constituyen la región de **cabeza** y **cuello** del cuerpo. Las siguientes doce vértebras (**dorsales**), junto con las costillas y el esternón, constituyen el **tórax**. Por debajo de esta región está el **abdomen**, cuyos componentes óseos son las cinco vértebras **lumbares**. Las vértebras restantes se fusionan en dos grupos, las cinco vértebras **sacras** forman el sacro, y las cuatro vértebras **coxigeas** forman el **coxis**.

El término común de las extremidades del cuerpo es «brazos» y «piernas». Sin embargo, anatómicamente estas estructuras son referidas como **extremidades**; «brazo» y «pierna» tiene significados anatómicos más específicos, a los que nos referiremos posteriormente.

Cada **extremidad superior** consta de:

- **clavícula** y **escápula**, que forman casi la mitad del **área pectoral**
- un hueso en el brazo - el **húmero**
- dos huesos en el antebrazo - el **radio** y el **cúbito**
- ocho huesos en la muñeca o **carpo**
- cinco huesos que componen la palma de la mano - **metacarpo**
- catorce huesos en los dedos o **falanges**

Cada **extremidad inferior** consta de:

- un **hueso innominado** o **hueso de la cadera**, que forma la mitad de la **zona pélvica**
- un hueso en el muslo - el **fémur**
- un hueso en la rodilla - la **rótula**
- dos huesos en la pierna - la **tibia** y el **peroné**
- siete huesos en la zona posterior del pie o **tarso**
- cinco huesos **metatarsianos** (que se corresponden con los metacarpianos en la mano)
- catorce **falanges**

Estos huesos se muestran en las Figuras 2 y 3. El antropometrista necesita conocer sus nombres para prepararse para el aprendizaje del siguiente nivel - los puntos o marcas anatómicas óseas. [Existen otros huesos más pequeños en el cuerpo, por ejemplo el **osículo**, encontrado en el oído interno, y muy

pequeños huesos **sesamoideos**, encontrados en ciertos tendones, pero éstos no son de mayor importancia

para el antropometrista (excepto cuando se mide el ancho de pie de alguien con juanete)].

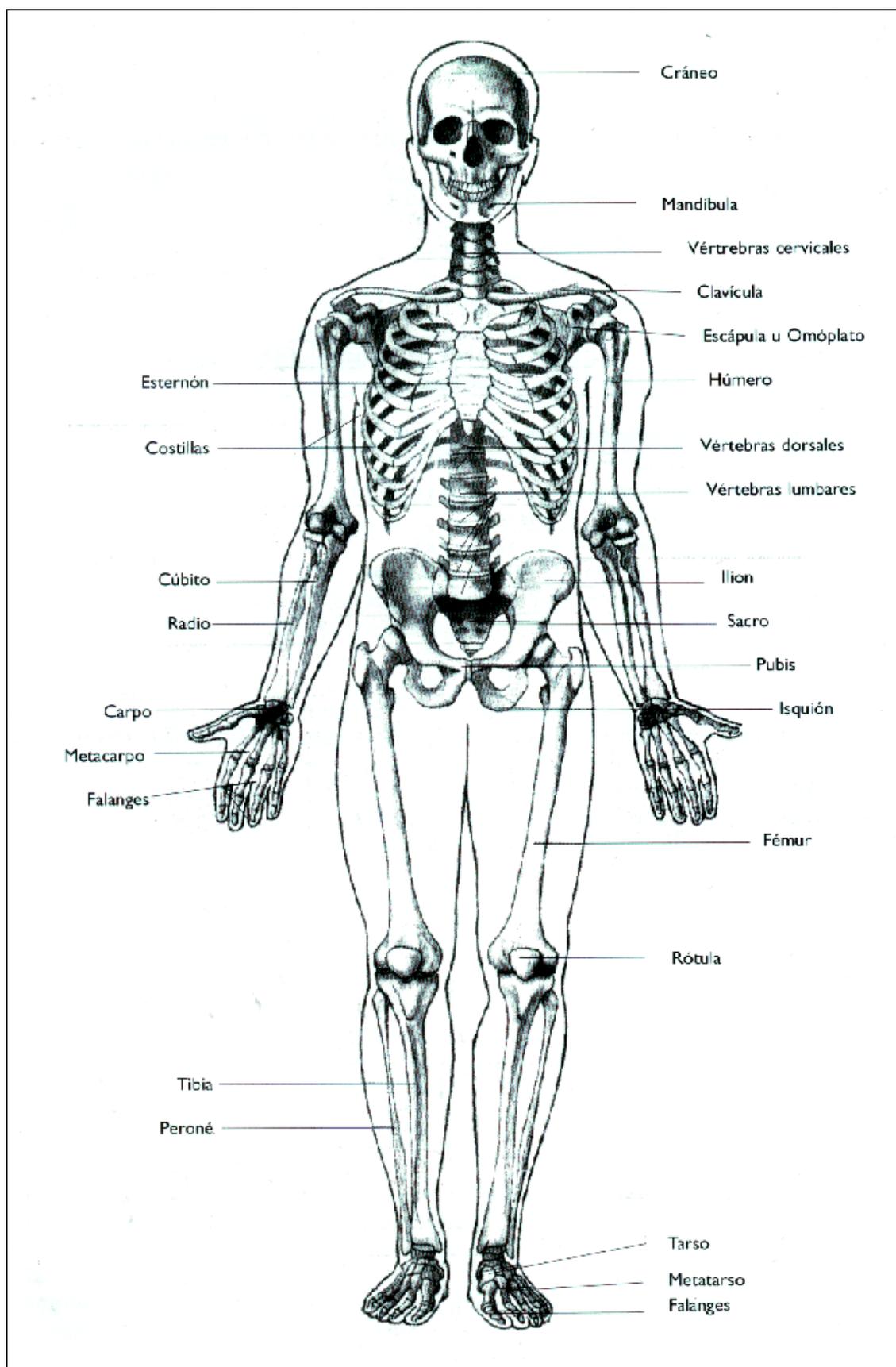


FIGURA 2. Esqueleto humano (vista anterior)

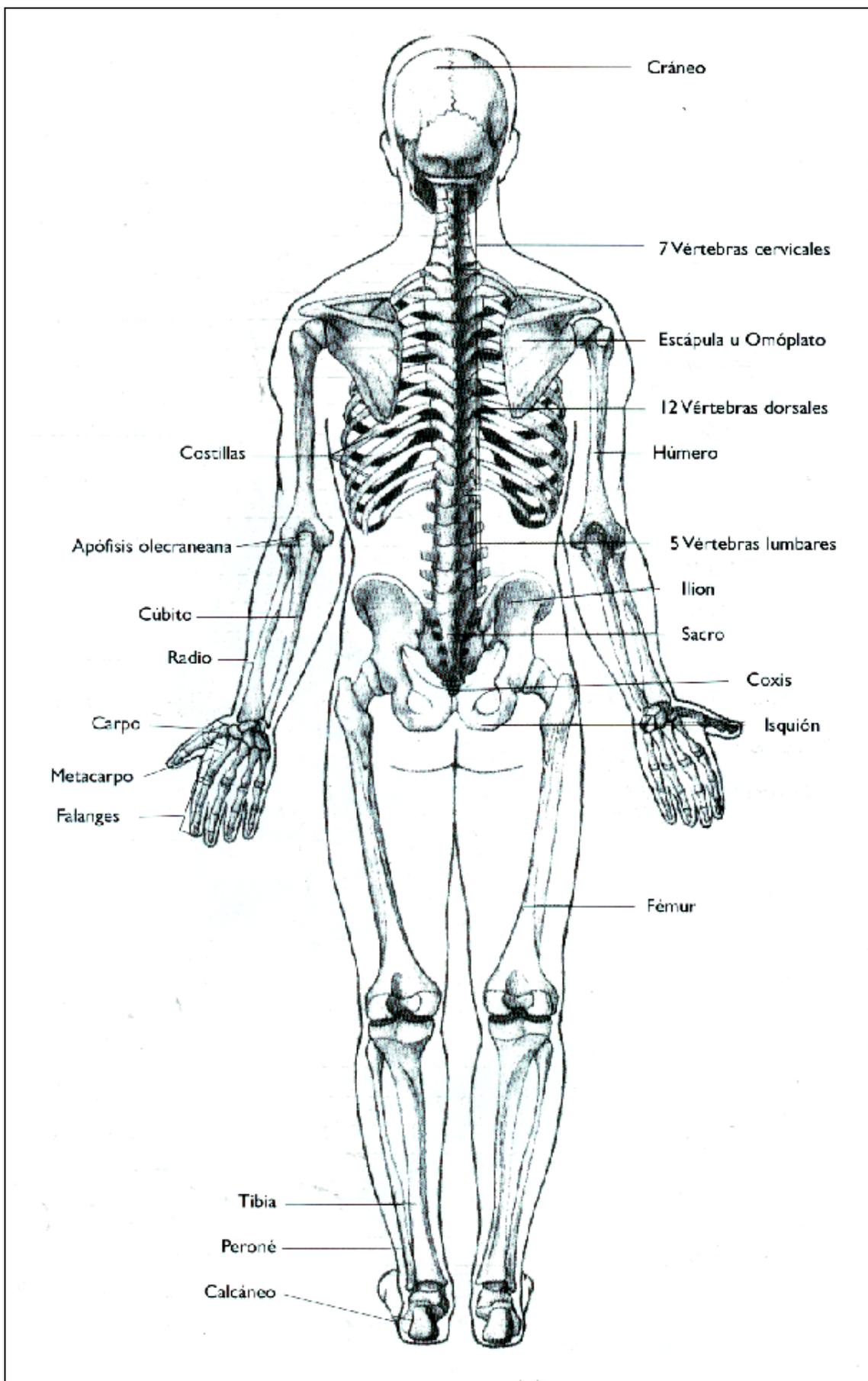


FIGURA 3. Esqueleto humano (vista posterior)

3.1. La cabeza y el cuello

La **cabeza** está compuesta por más de 20 huesos individuales, cuyos nombres en su mayoría no son cruciales para el antropometrista. Es suficiente reconocer que existen dos áreas distintivas - el **cráneo** y los huesos de la cara; y debajo de la parte facial del cráneo, el maxilar inferior móvil, o **mandíbula**.

Dos puntos anatómicos son de importancia para el antropometrista. El margen óseo inferior de la órbita ocular, conocido como **orbital** (Figura 4), es uno de los puntos utilizados para asegurar que la cabeza esté en el plano de Frankfort, antes de medir la estatura. [El otro punto utilizado para este fin, el **trago**, no es un punto óseo].

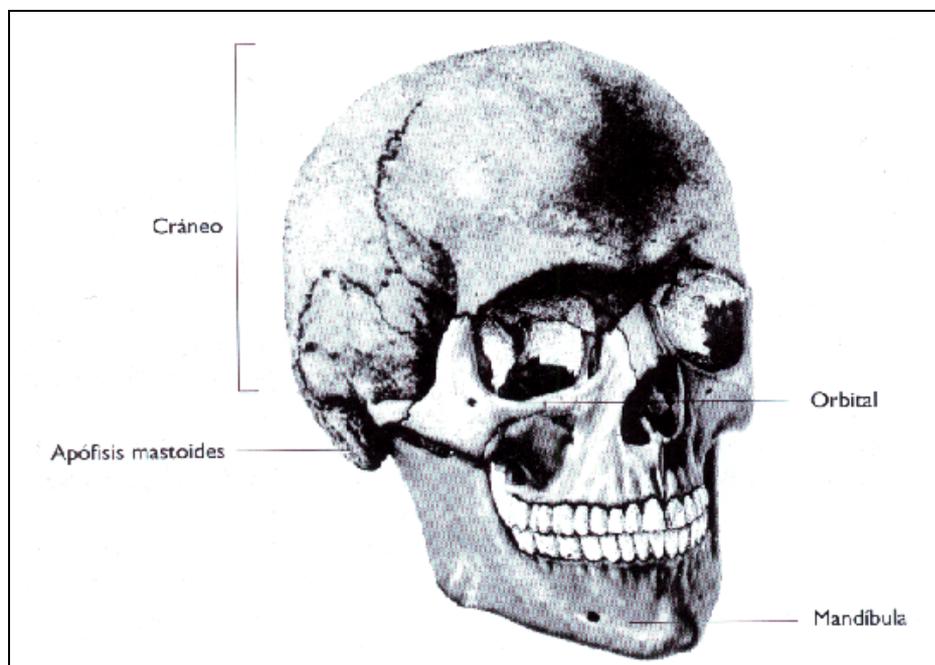


Figura 4. Cabeza

Los puntos fácilmente palpables que sobresalen verticalmente hacia abajo por detrás de la parte inferior de cada oído son las llamadas **apófisis mastoideas** (Figura 4). Estos puntos son utilizados para asegurar que la presión hacia arriba ejercida sobre el cráneo durante la medición de la “altura en extensión máxima” esté dirigida hacia los puntos correctos. La cabeza está balanceada en la parte superior de la **columna vertebral**, cuyas siete primeras vértebras, las **vértebras cervicales**, constituyen el cuello. La primera y la segunda de estas vértebras, el **atlas** y el **axis** respectivamente, están especialmente modificadas para brindar una pequeña plataforma (el atlas) para la cabeza y un pivot (el axis) sobre el cual esa plataforma puede rotar.

### 3.2. Área pectoral o cintura escapular

Constituida principalmente por la **clavícula** (en latín significa “pequeña llave”) y por la **escápula** (en latín significa “pala del hombro”) en cada lado del cuerpo, la cintura escapular no es un círculo óseo completo. A pesar de que las extremidades medias de las dos clavículas están unidas en la parte anterior al esternón, los bordes medios de la escápula están unidos a la

columna vertebral, en la parte posterior, por músculos (los **romboides**) más que por huesos.

La clavícula brinda un sostén para la articulación del hombro lo cual no sólo sostiene el hombro separado de la caja torácica cuando se desea, sino que también absorbe el impacto de la extremidad superior transmitiéndolo al tronco a través del esternón. La extremidad lateral de la clavícula se articula con la cara ántero-medial del **proceso acromial** de la escápula, formando la **articulación acromio-clavicular**. La cápsula articular de esta articulación puede palparse fácilmente por debajo de la piel manteniendo los dedos en contacto con la superficie superior de la clavícula y moviéndolos lateralmente. A veces, los antropometristas inexpertos identifican esta protuberancia como la cara externa del proceso acromial en sí, lo que resulta en una identificación errónea del punto **acromial**, y en una consecuente equivocación en la medición del largo del brazo.

La escápula forma el principal componente óseo externo de la cintura escapular. Este hueso, que se recuesta contra la cara posterior de la parte superior del tórax, es básicamente triangular, con el borde superior externo significativamente modificado para

proveer una mejor adhesión a los músculos y una órbita plana con la cual el hueso del brazo, el **húmero**, se articula (Figura 5). Su punto más inferior, el ángulo inferior, puede palparse deslizando el pulgar hacia arriba por la cara lateral de la espalda hasta que se encuentra el ángulo óseo de la escápula. Si es necesario, esta palpación puede hacerse más fácilmente pidiéndole al sujeto que coloque el brazo por detrás de su espalda.

La **espina** o **cresta escapular** es mucho más prominente lateralmente que medialmente, elongándose su parte más lateral hacia adelante para

formar el **proceso acromial**. La parte más superior del extremo lateral de este proceso es la ubicación definida como el punto acromial. El punto acromial no es necesariamente fácil de ubicar, particularmente cuando el sujeto es muy musculado o cuando tiene una gruesa capa de grasa subcutánea.

Sin embargo, si se desliza el pulgar suave, pero firmemente, hacia arriba por la cara lateral del músculo deltoides, el primer punto óseo que se encuentra debería ser el borde lateral del proceso acromial.

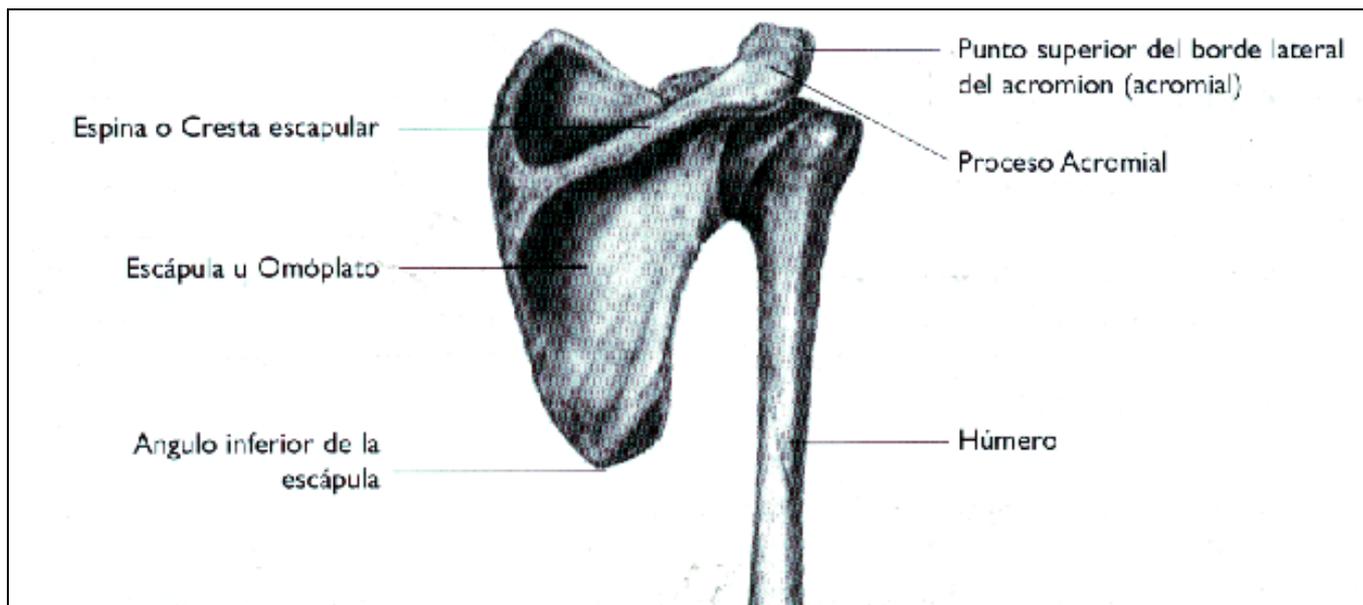


FIGURA 5. Escápula

### 3.3. El brazo

La parte de la extremidad superior entre la articulación del hombro y la articulación del codo es conocida como **brazo anatómico**. Está compuesto por un solo hueso largo, el **húmero**, cuya cabeza se articula proximalmente en la articulación del hombro con la escápula. El extremo distal del húmero es de mayor interés para el antropometrista que el extremo proximal, debido a su mayor palpabilidad (Figura 6). La forma especial que tiene este extremo del hueso facilita su articulación con las extremidades proximales de los dos huesos del antebrazo, el **radio** y el **cúbito**. Lateralmente, esta extremidad del húmero

tiene forma redonda. Esta parte, que se articula con la concavidad de la **cabeza del radio**, es llamada **capitulum** (deriva del latín que significa «pequeña cabeza»). Hacia la parte medial, la extremidad del húmero tiene forma de polea. Esta parte, la **tróclea** (en latín significa «polea») se inserta en el **hueco troclear del cúbito**. Dos prominencias se proyectan a cada lado de la extremidad distal del húmero. Proyectándose medialmente, próximo a la tróclea está el **epicóndilo medial** (también llamado **epitroclea**). Proyectándose lateralmente, próximo al capitulum está el **epicóndilo lateral** (o simplemente **epicóndilo**).

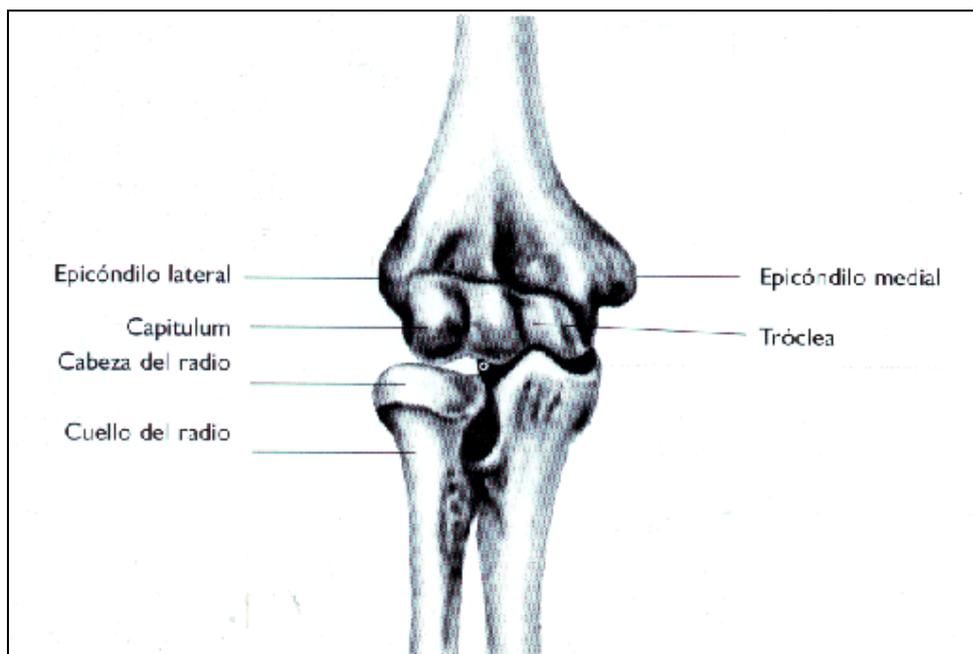


FIGURA 6. Huesos del codo derecho (vista anterior)

### 3.4. El antebrazo

La parte de la extremidad superior entre la articulación del codo y la articulación de la muñeca se conoce como **antebrazo anatómico**. Está compuesto por dos huesos largos, el **radio** (lateralmente), y el **cúbito** (medialmente). Las extremidades proximales del radio y del cúbito tienen una forma tal que se complementan con el capitulum y la tróclea del húmero, respectivamente, (Figura 6). La forma redonda del capitulum permite que la cabeza del radio no sólo se deslice hacia atrás y hacia adelante a medida que el codo se extiende y se flexiona, sino que también rote sobre él cuando el radio rota sobre su eje longitudinal durante la **pronación** y la **supinación** (Figura 7). La parte más proximal y muy prominente del cúbito es la **apófisis olecraneana** (Figura 3). Las extremidades distales del radio y el cúbito tienen apófisis distintivas que se proyectan distalmente sobre sus caras lateral y medial, respectivamente (Figura 8). Estas apófisis tienen ambas el mismo nombre - **apófisis estiloides** - por lo cual, cuando se hace referencia a alguna de ellas es necesario especificar a qué hueso se refiere utilizando el nombre completo, por ejemplo, “apófisis estiloides del cúbito”.

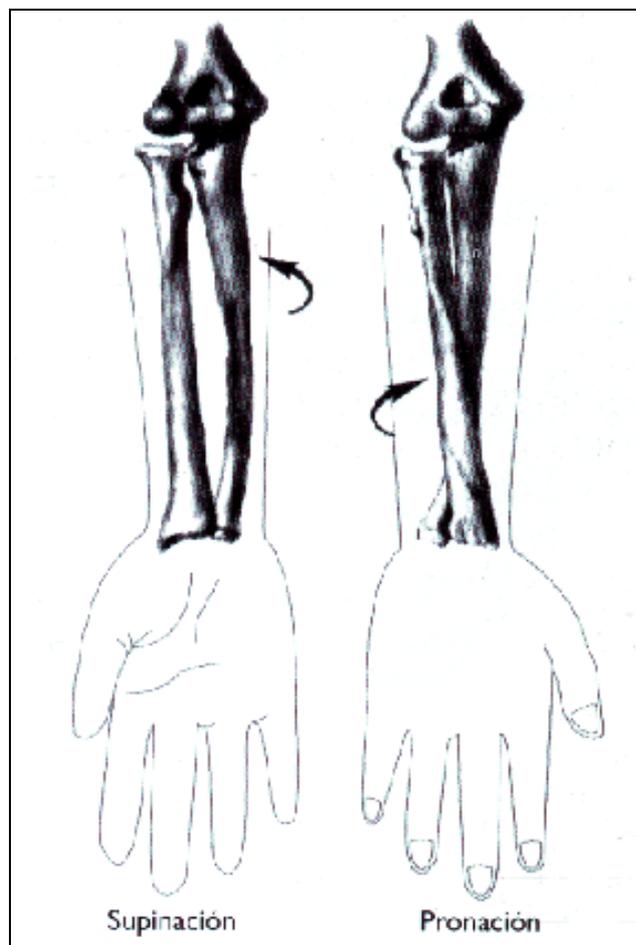


FIGURA 7. Supinación y pronación del antebrazo derecho.

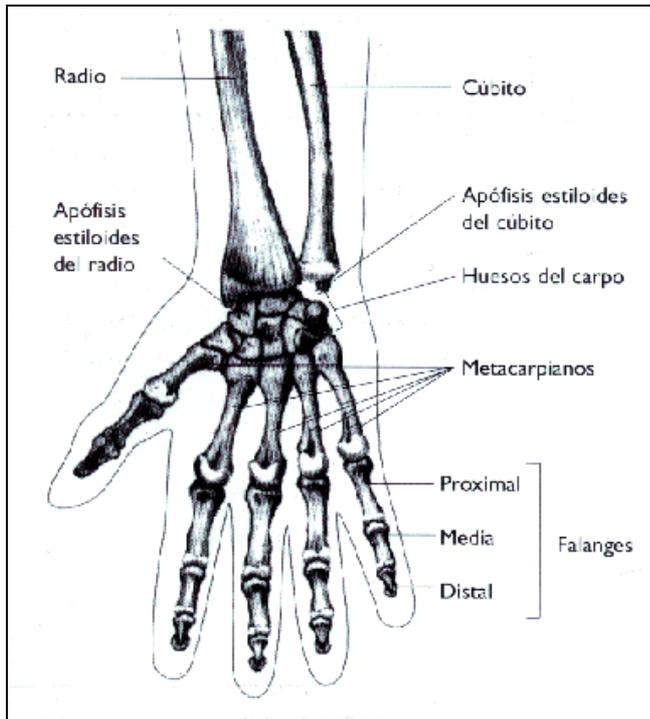


FIGURA 8. Huesos de la muñeca y mano derechas (vista anterior)

### 3.5. La muñeca y la mano

Hay ocho huesos pequeños (**carpianos**) en la **muñeca**, ubicados en dos filas irregulares de cuatro. Si bien cada uno tiene su nombre, no es necesario que el antropometrista novato los conozca. La fila proximal se ubica parcialmente fuera de la mano (en el área que la persona común llama “muñeca”). La fila distal se ubica completamente dentro de (y forma) la base de la mano. La palma ósea consta de cinco huesos metacarpianos.

Cada uno de los cuatro dedos contiene tres **falanges**, una **proximal**, una **media**, y una **distal** (o **terminal**). El dedo pulgar sólo tiene dos falanges (proximal y distal).

### 3.6. Las costillas y el esternón

Hay doce **costillas** en cada lado del tórax, correspondientes a las doce vértebras dorsales. Cada una se curva lateralmente, y levemente hacia abajo, a partir de cada vértebra, continuando hacia adelante, luego medialmente para articularse con el esternón. La parte ósea de cada costilla no llega al esternón, pero se conecta a través del **cartilago costal** (la palabra en latín para costilla es “costa”).

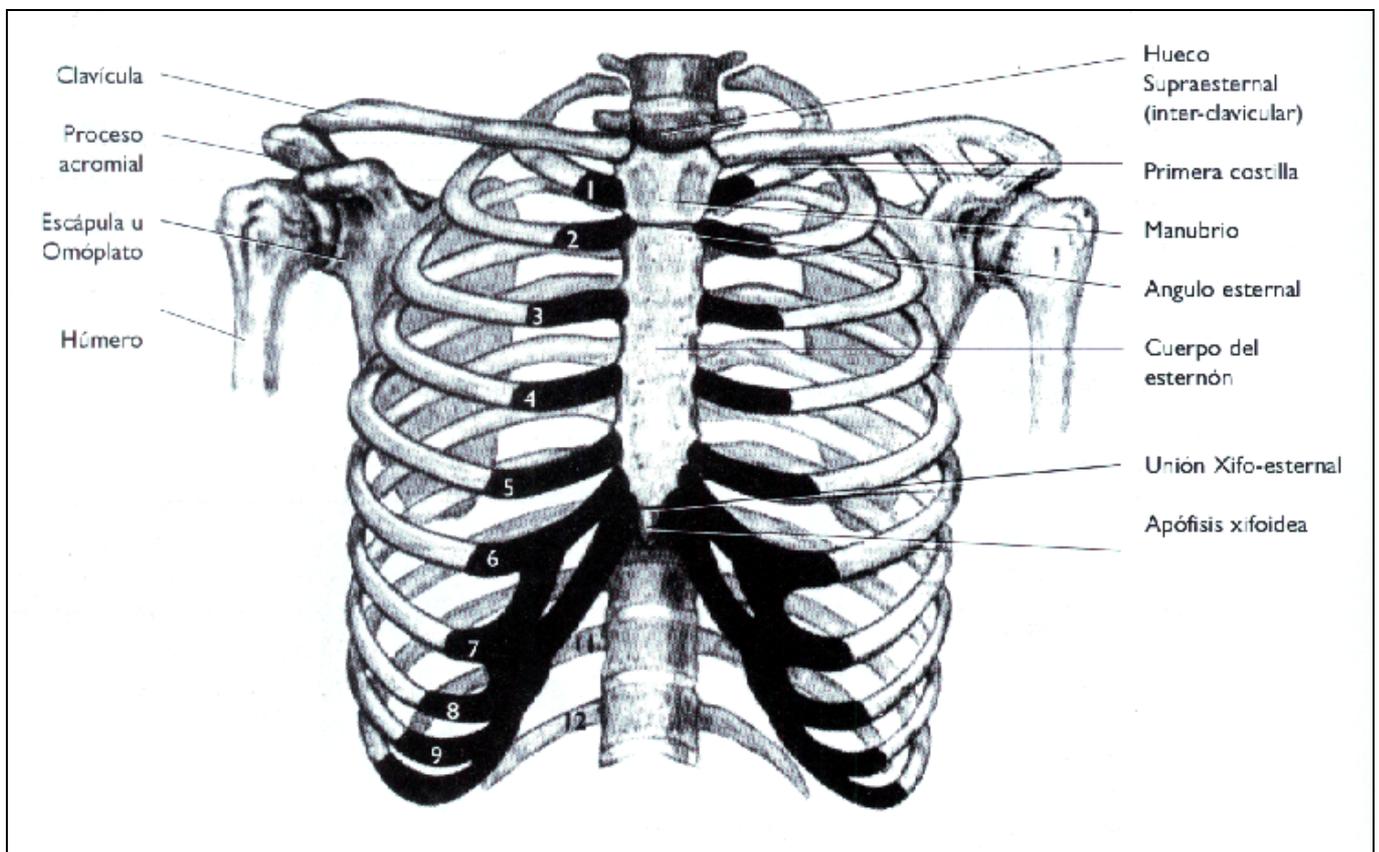


FIGURA 9. Costillas y esternón

Las costillas uno a siete tienen su propio cartílago costal que las conecta directamente con el esternón (Figura 9). Por esta razón se las conoce como costillas “verdaderas”. Los cartílagos costales de las costillas ocho, nueve, y diez se conectan al esternón indirectamente a través del cartílago de arriba. Por lo tanto a estas tres costillas se las denominan costillas “falsas”. Las costillas once y doce no se conectan para nada con el esternón, y entonces se las conoce como costillas “flotantes”.

El esternón consta de tres partes. La parte superior se denomina **manubrio** (deriva del latín, que significa “mango”), la parte media es el **cuerpo**, y la pequeña parte inferior es la **apófisis xifoidea** (deriva del Griego, que significa “como una espada”). Las superficies superiores y laterales del manubrio realizan la muy importante conexión con las extremidades mediales de las clavículas. Por consiguiente el hueco superficial en la parte superior del manubrio es denominado **inter-clavicular**, o también **hueco supraesternal**. El manubrio y el cuerpo se conectan en el **ángulo esternal** (también conocido como Angulo de Louis) a través de una articulación móvil que permite que el cuerpo se mueva levemente (hacia adelante y hacia atrás con relación al manubrio) durante los movimientos de respiración. Por lo general, el ángulo es fácilmente palpable como una pequeña cresta horizontal u poco más abajo del hueco supraesternal, y es útil poder identificar su nivel ya que es aquí donde el cartílago costal de la segunda costilla se articula con el esternón.

### 3.7 Vértebras lumbares, sacro y coxis

Debajo de las vértebras dorsales, la columna continúa con cinco vértebras lumbares. Estas vértebras son progresivamente más grandes, y más fuertes que las dorsales, y no tienen costillas adjuntas.

Las cinco vértebras inmediatamente inferiores a la sección lumbar de la columna vertebral se fusionan en una masa triangular sólida, el **sacro** (en latín significa “sagrado”), y las últimas cuatro vértebras de la columna también están fusionadas, y forman el **coxis**.

### 3.8. La cintura pelviana

La **cadera** o hueso **innominado**, en cada lado del cuerpo, consta de tres huesos fusionados entre sí. La gran placa con forma de abanico, en la parte superior, es el **ilion**. El hueso en el extremo inferior y posterior es el **isquiún**, y el hueso más pequeño, que sobresale en el centro de la parte frontal e inferior, es el **pubis** (Figura 10). El hueso púbico se une con su equivalente contralateral en la línea media, y los dos huesos ilíacos se juntan posteriormente por el sacro para formar la cintura pelviana. Los tres huesos se fusionan en la región del **acetábulo**, cavidad ósea en la cual se ubica la cabeza del fémur. Se deben destacar las tres marcas óseas de la cintura pelviana, todas en el ilión. Estas son:

- la **cresta ilíaca**
- el **tubérculo ilíaco**
- la **espina ilíaca anterosuperior** (Figura 10)

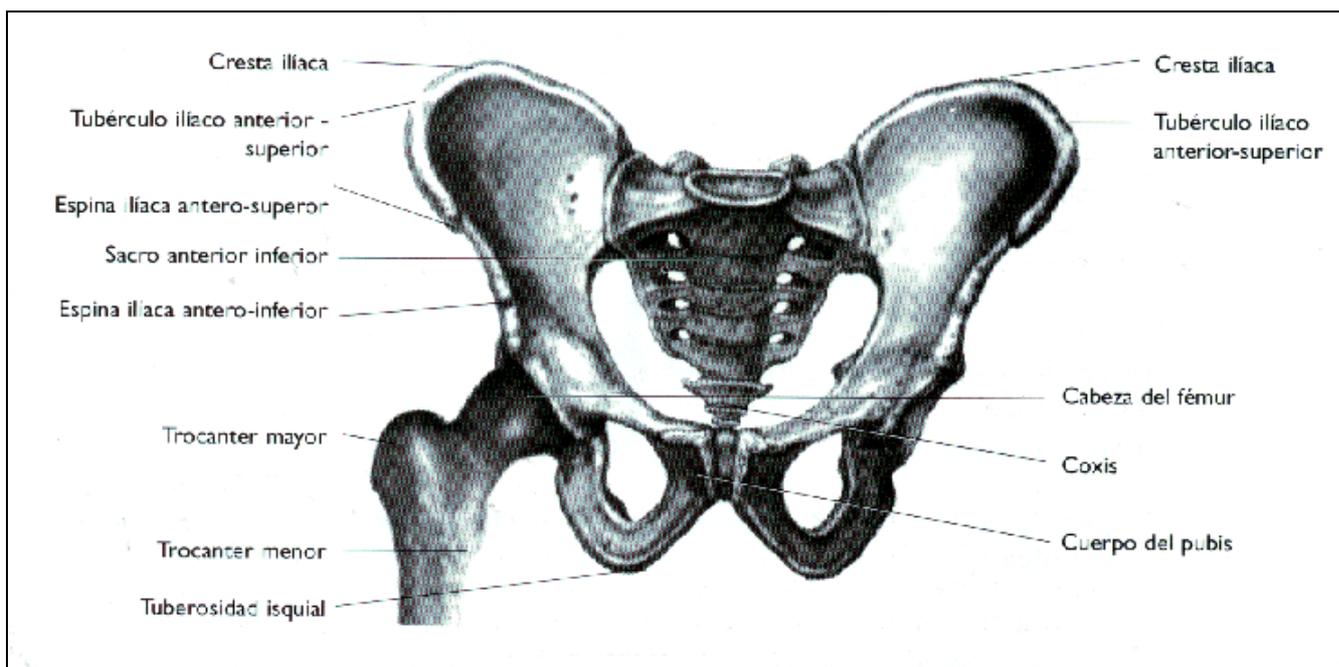


FIGURA 10. Huesos de la región de la cadera

### 3.9. El muslo

La parte de la extremidad inferior entre la articulación de la cadera y la articulación de la rodilla es denominada **muslo anatómico**. El único hueso largo en esta región es el **fémur**, cuya cabeza se articula con el acetábulo del hueso de la cadera.

Debajo (y lateral) de la **cabeza del fémur** está el **cuello**, y lateral al cuello, se encuentra un gran collar de hueso. La gran protuberancia que éste provoca

sobre la cara súpero-lateral es conocida como **trocánter mayor** (Figura 10).

En su extremo distal, el fémur se ensancha y forma dos grandes bultos, o **cóndilos** (deriva del griego, que significa “nudillos”) los cuales se articulan con los cóndilos correspondientes del mayor de los dos huesos de la pierna, la tibia. Estos cóndilos son más fácilmente vistos desde atrás. Las caras más laterales de cada cóndilo forman pequeñas protuberancias conocidas como **epicóndilos** (Figura 11).

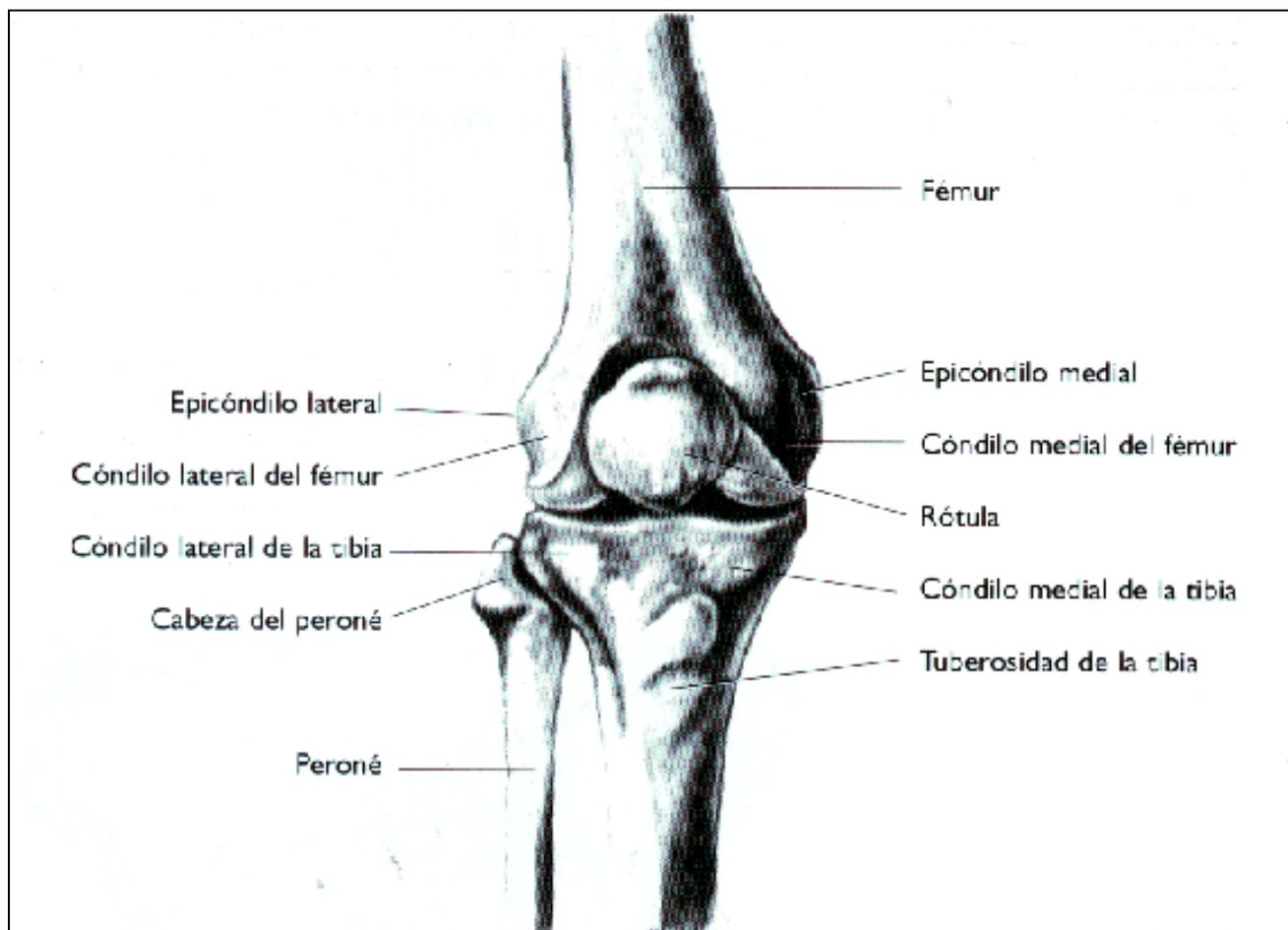


FIGURA 11. Huesos de la rodilla derecha (vista anterior)

### 3.10. La pierna

La porción de la extremidad inferior entre la rodilla y el tobillo es denominada **pierna anatómica**. Contiene dos huesos largos, de tamaños desproporcionados. El mayor y medial es la **tibia**, y el más pequeño y lateral es el **peroné** (Figuras 2 y 3). La extremidad proximal de la tibia se expande en dos **cóndilos tibiales** (Figura 11). Estos se articulan con el fémur y soportan los cóndilos del mismo. Por debajo de los cóndilos, en la cara anterior de la tibia se ubica una protuberancia distintiva, la **tuberosidad de la tibia**, que es el punto de inserción del gran tendón del **Cuádriceps Femoral**.

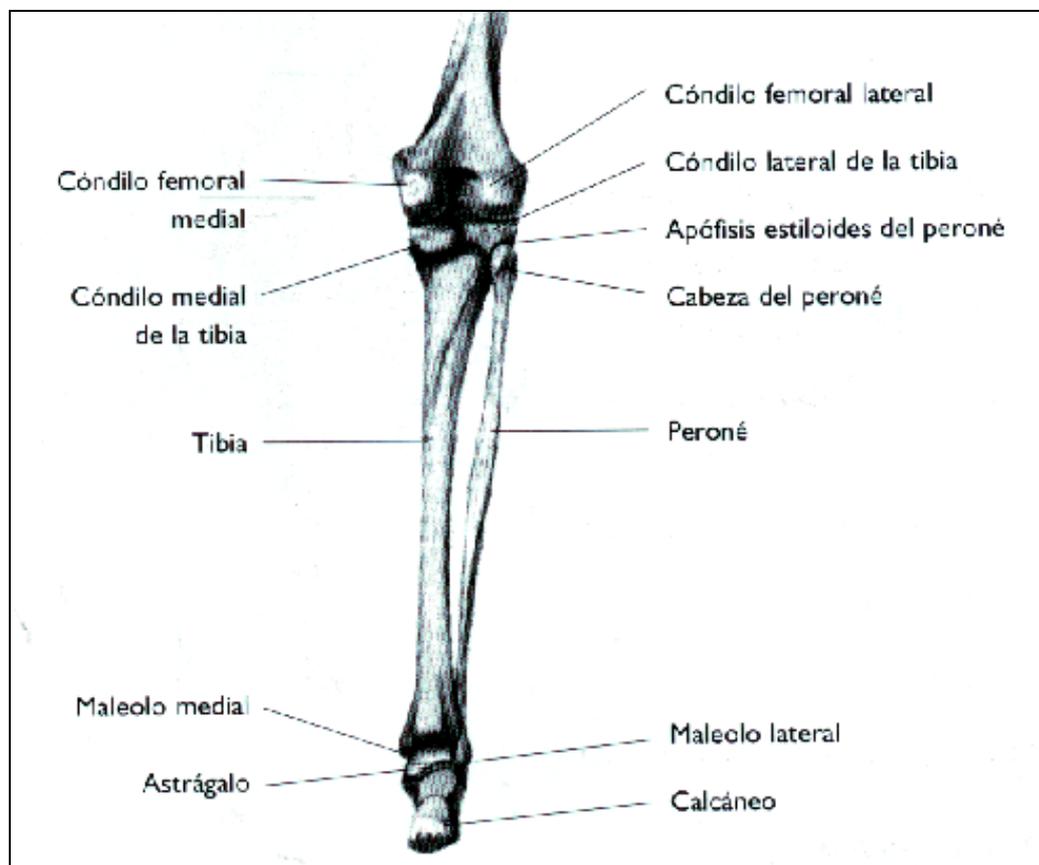
El peroné no participa de la articulación de la rodilla en sí, más que aportando una inserción para uno de sus ligamentos de apoyo, el **ligamento lateral externo**. Existe otro hueso significativo en esta región, la **rótula** (en latín significa “plato pequeño”). Este hueso se encuentra incrustado en el tendón del cuádriceps, justo por encima del nivel del espacio articular de la rodilla. Como otros huesos que se desarrollan en los tendones, la rótula es clasificada como un **hueso sesamoideo**. Su función es tanto la de brindar protección al tendón del cuádriceps cuando se desliza hacia atrás y hacia delante, sobre el frente de la articulación de la rodilla, como la de incrementar sustancialmente (aproximadamente el doble) la

cantidad de fuerza que el músculo puede ejercer al extender la pierna.

### El tobillo y el pie

En el extremo distal de la pierna, la tibia se extiende en su cara media y el peroné se extiende en su cara

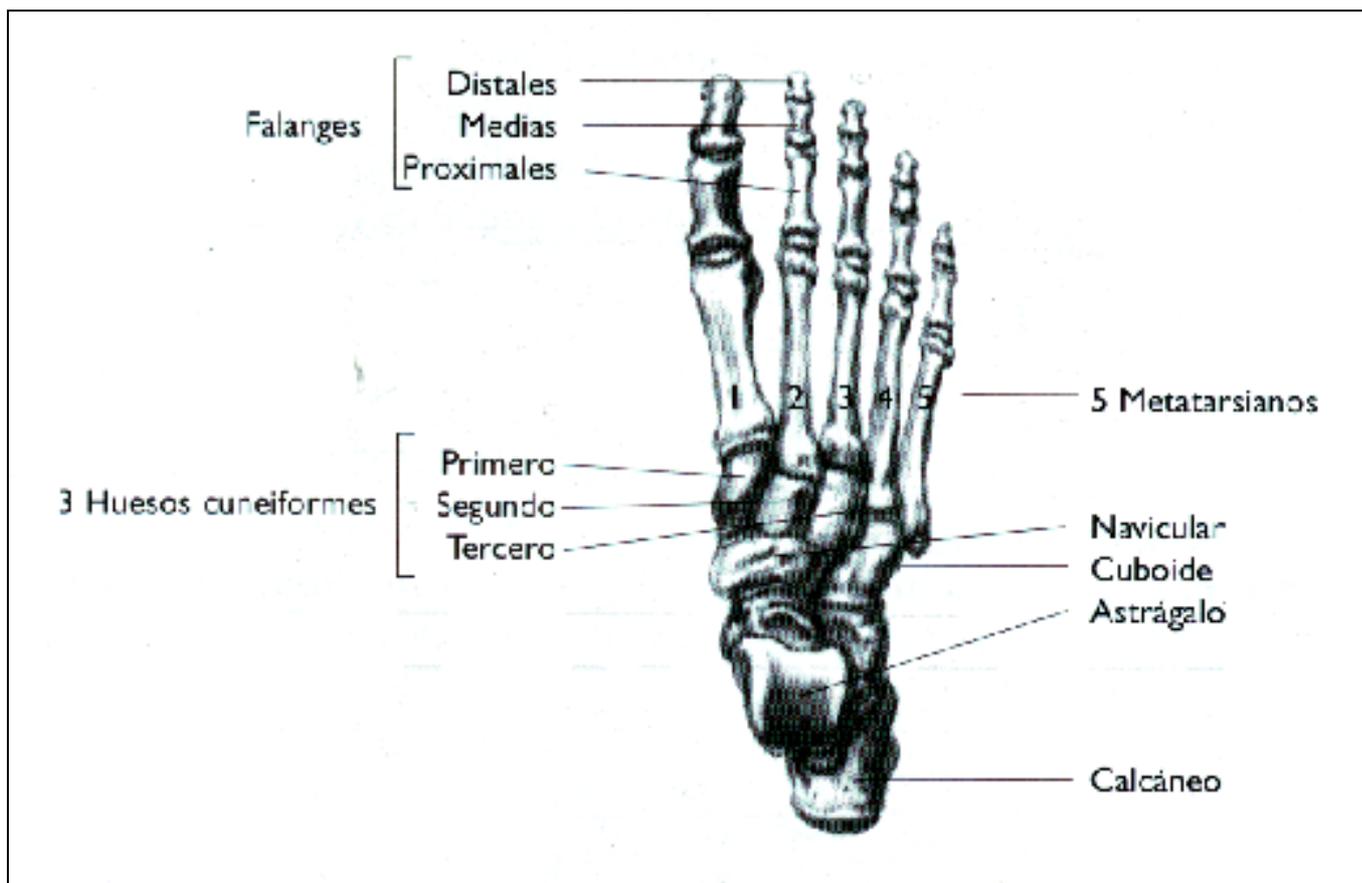
lateral, para formar un estribo combinado de hueso. Este se apoya en, y se articula con, el **astrágalo**, el más superior de los siete huesos del **tarso**, para formar la **articulación del tobillo**. Esta extensión media de la tibia es llamada **maleolo medial**. La correspondiente extensión del peroné se denomina **maleolo lateral** (Figura 12).



**FIGURA 12.** Huesos de la rodilla derecha, pierna, y tobillo (vista posterior)

El pie es la plataforma crucial de todo el cuerpo durante la posición erecta y para la locomoción. La mitad posterior del pie consta de siete huesos distintivos, los huesos **tarsianos**. Se deben mencionar los nombres de los dos tarsianos posteriores, ya que son los más grandes y juegan el rol más importante en el soporte del peso. Estos dos huesos son el **astrágalo**, que se apoya sobre la parte superior del **calcáneo**. El astrágalo se articula con el calcáneo por debajo, y con

la tibia y el peroné por arriba. Estos dos huesos se muestran en las Figuras 12 y 13. Distales (y anteriores) a los siete huesos tarsianos se encuentran los cinco **metatarsianos**, y distales a éstos, se ubican las catorce falanges (tres en cada dedo, excepto en el dedo gordo).



**FIGURA 13.** Huesos del pie (vista superior)

#### 4. LOS MUSCULOS

Además de conocer todos los puntos, o referencias óseas necesarias del cuerpo, el antropometrista debería estar familiarizado con los nombres y con la ubicación de los principales músculos superficiales y grupos musculares, ya que éstos, junto con la piel y la grasa subcutánea, contribuyen tanto como el esqueleto en la determinación del tamaño y la forma.

Algunos músculos son lo suficientemente grandes o distintivos para garantizar su mención. Otros no necesitan ser identificados individualmente; el nombre

del grupo al cual pertenecen cubre más que adecuadamente la necesidad del antropometrista.

A pesar de que los nombres pueden parecer extraños al principio, los músculos son denominados lógicamente (ya sea del Latín o del Griego) sobre la base de una o más características, tal como la posición, forma, o acción. Esto puede ser muy útil para recordar donde está el músculo y que función cumple. De la misma manera que los huesos, los músculos muestran una simetría bilateral en el cuerpo. En las Figuras 14 y 15 se muestra la ubicación de los músculos o grupos discutidos.

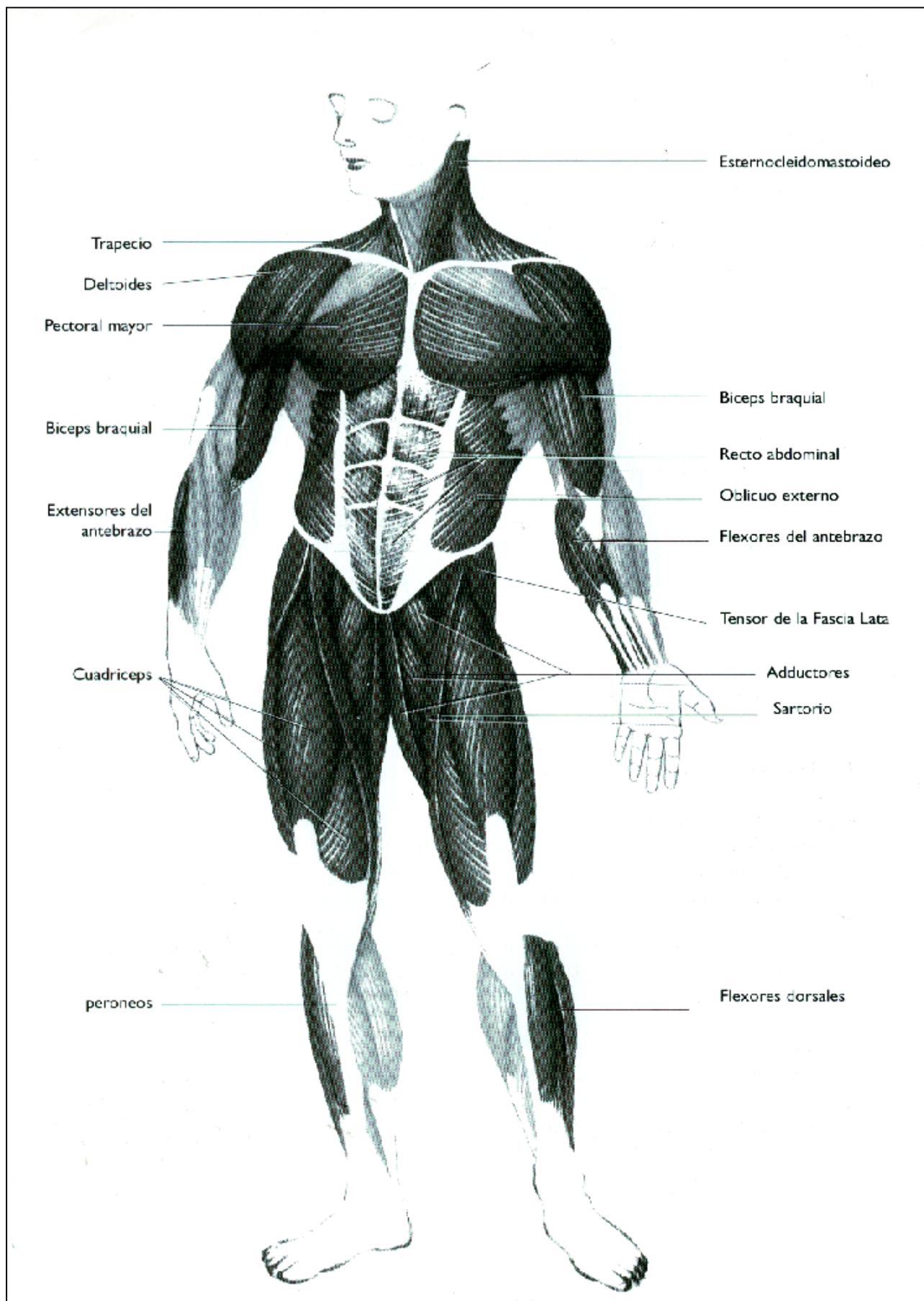
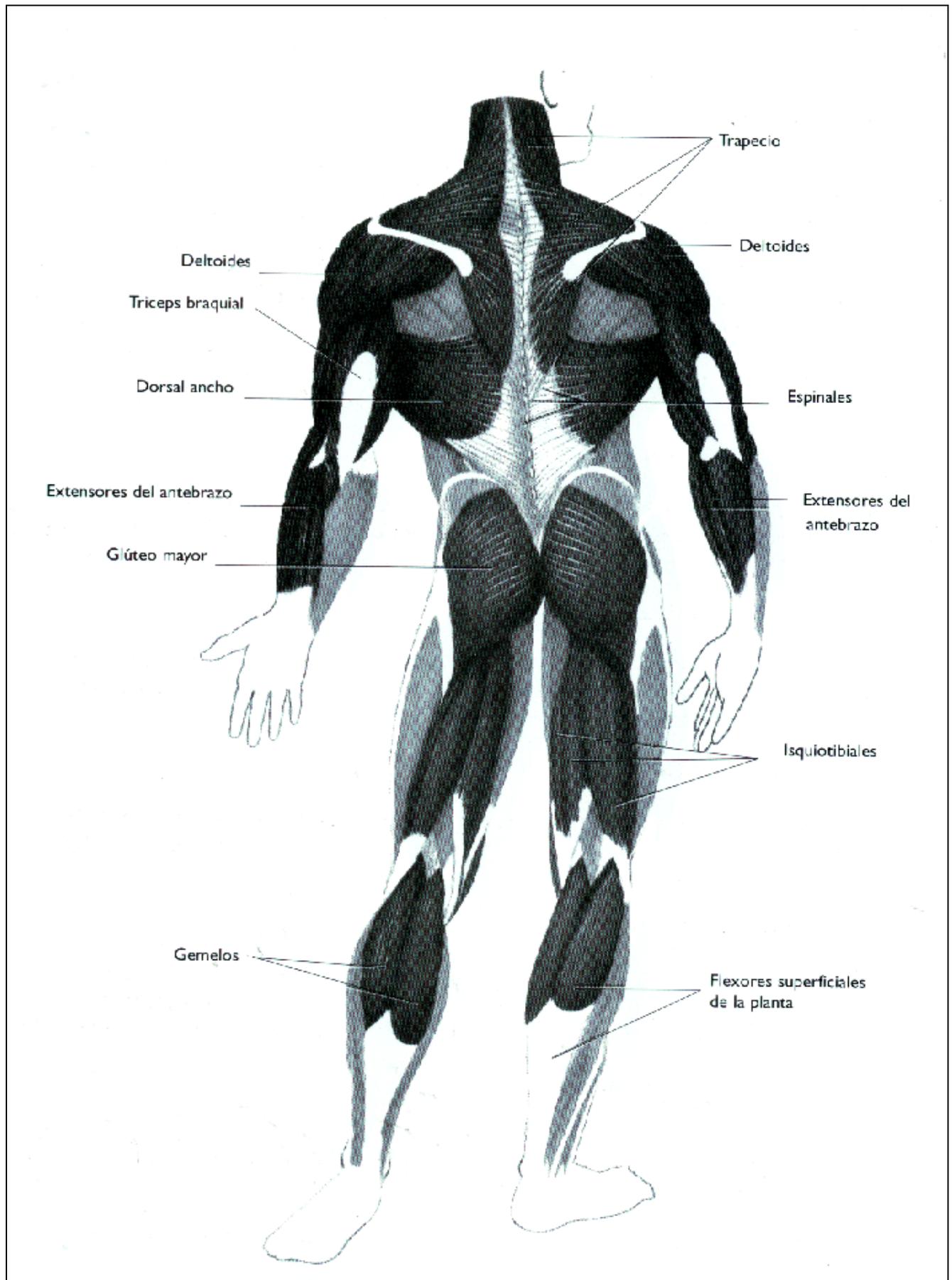


FIGURA 14. Músculos superficiales (vista anterior)



**FIGURA 15.** Músculos superficiales (vista posterior)

#### 4.1. Músculos de la cabeza y del cuello

Si bien la cabeza y el cuello tienen muchos músculos, que varían desde los que intervienen en la masticación hasta los que intervienen en la expresión, sólo dos músculos son importantes para el antropometrista. El primero, el **Trapezio**, se encuentra en la parte posterior del cuello y en la parte superior media de la columna. Se lo denomina así porque junto con su homónimo contralateral, forma un trapecio. Es el músculo que da la forma a la pendiente del hombro. El segundo, el **Esternocleidomastoideo** (comúnmente referido como “esternomastoideo”) se ubica en la parte lateral del cuello, y en gran medida, su tamaño determina el ancho del cuello. Este músculo es un buen ejemplo del nombre que describe la posición, ya que cada parte del nombre hace referencia a los tres huesos (esternón y clavícula por debajo, y apófisis mastoidea por arriba) entre los cuales el músculo está insertado.

#### 4.2. Músculos del hombro

El músculo superficial bastante obvio en el hombro es el **Deltoides**. Este va de la cara externa de la clavícula, acromion, borde posterior de la espina de la escápula, a la cara lateral del húmero, y se inserta en la mitad inferior del húmero. Forma la masa del hombro.

#### 4.3. Músculos del brazo

En la cara anterior del brazo, se encuentra uno de los músculos más conocidos del cuerpo, el **Bíceps Braquial** (músculo dividido en dos vientres), comúnmente llamado “bíceps”. En la cara posterior se ubica el **Tríceps Braquial**.

#### 4.4. Músculos del antebrazo

El grupo muscular que constituye el relieve del antebrazo medio es el **grupo de los flexores del antebrazo**, mientras que la masa lateral del antebrazo está compuesta por el **grupo de los extensores del antebrazo**.

#### 4.5. Músculos del tórax

La masa muscular prominente (al menos en la mayoría de los hombres adultos) que se encuentra a cada costado de la palle superior del tronco es el **grupo pectoral**. El más superficial y el más grande de los dos músculos, en este grupo, es el **Pectoral Mayor**.

#### 4.6. Músculos de la espalda

Las columnas sólidas de músculos que se ubican a cada lado de la columna vertebral son llamadas en forma colectiva **grupo de estabilizadores de la columna o espinales** (por su acción combinada). El gran músculo plano que se esparce desde la parte inferior de la columna alrededor del tórax, justo por debajo de la axila, hasta la parte media del brazo, es el **Dorsal Ancho**. Cuanto mayor es su desarrollo, más notablemente se evidenciará la forma de y del torso.

#### 4.7. Músculos abdominales

El **grupo abdominal** forma las paredes del abdomen en la mayor parte de su circunferencia.

Los dos músculos más superficiales de este grupo (de los cuatro que lo integran) son el **Oblicuo Externo**, en la parte lateral, y el **Recto Abdominal**, que corre verticalmente a cada lado del plano medio sagital, entre la caja torácica y el pubis.

#### 4.8. Músculos posteriores de la cadera

El **grupo de los glúteos** aporta el gran relieve muscular que forma las nalgas. El músculo más grande de este grupo, y el más superficial posteriormente, es el **Glúteo Mayor**.

Sin embargo, un miembro del grupo muscular de los glúteos, el **Tensor de la Fascia Lata**, se ubica más lateral con relación a la cadera que posterior a ella. Este músculo, con frecuencia, es muy prominente en deportistas que practican disciplinas que involucran grandes cantidades de carrera y saltos.

#### 4.9. Músculos del muslo

Los músculos del muslo están agrupados convenientemente en tres grupos, uno situado anteriormente, uno medial, y otro posteriormente.

El **grupo anterior** está formado por el **Cuádriceps Femoral** (denominado así por sus cuatro partes y comúnmente llamado “cuádriceps”). El relieve del **grupo medio** está compuesto por los **aductores**; y el **grupo posterior** está formado por los **isquiotibiales**.

#### 4.10. Músculos de la pierna

La pierna tiene cuatro grupos musculares distintivos, tres de los cuales son superficiales y distinguibles. En la cara ántero-lateral de la tibia se encuentra el **grupo de flexores dorsales**, que toma su nombre a partir de la acción de este grupo en la articulación del tobillo. En la cara lateral del peroné se encuentra el **grupo peroneo** (peroné en latín significa “alfiler largo”).

Posteriormente a ambos huesos, se ubica el **grupo profundo de los flexores de la planta (sóleo)** y el **grupo superficial de los flexores de la planta**, de los cuales solo este último se puede palpar. EL músculo más superficial del grupo superficial de los flexores de la planta es el **Gemelo**.

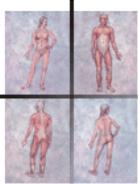
---

---

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Basmajian, J.V. (1982).  
**Primary anatomy.**  
Baltimore: Williams & Wilkins.

## CAPÍTULO 2



# TECNICAS DE MEDICION EN ANTROPOMETRIA

*Kevin Norton, Nancy Whittingham, Lindsay Carter, Deborah Kerr, Christopher Gore, y Michael Marfell-Jones*

---

## 1. INTRODUCCION

La antropometría, como cualquier otra área de la ciencia, depende de la adhesión a reglas particulares de medición determinadas por cuerpos normativos nacionales e internacionales. El cuerpo normativo antropométrico internacional adoptado para el propósito de este libro de texto es la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (International Society for Advancement in Kinanthropometry, ISAK). Los sitios antropométricos y las descripciones en este libro están basados en los textos de Ross y Marfell-Jones (1991) y están respaldados por la ISAK. Las razones principales para utilizar los lineamientos de ISAK se deben a que este grupo es verdaderamente internacional y ha trabajado durante muchos años para formular recomendaciones para la evaluación antropométrica de deportistas específicamente, pero con un espectro para aplicaciones más amplias sobre la población general. En Australia, estos lineamientos han sido respaldados tanto por el Laboratorio de Esquemas de Asistencia de Standards (LSAS) de la Comisión de Deportes de Australia (ASC), así como por la Asociación Australiana para las Ciencias del Deporte y el Ejercicio (AAESS).

Este capítulo introduce al estudiante en las distintas técnicas necesarias para obtener un perfil antropométrico total de una persona. El procedimiento debería llevarle a un antropometrista experimentado aproximadamente 25 minutos, mientras que una persona sin experiencia podría tardar una hora o más para completar la tarea.

Los sitios de medición incluidos son aquellos que rutinariamente se toman en los deportistas con el fin de monitoreo y control, tanto en el laboratorio como en el campo. También están incluidos sitios que, se sabe, son predictores del estado de salud en la población general. Una vez finalizada la medición de estos sitios antropométricos, el practicante puede utilizar distintas herramientas usando diversos métodos de cómputos para el análisis de los datos, algunos de los cuales se presentan en la Sección 2.

Estos incluyen el somatotipo; el fraccionamiento de la masa corporal en componentes óseo, muscular, grasa, y residual; estimaciones de proporcionalidad; predicción de la densidad corporal (y consecuentemente el porcentaje de grasa corporal) utilizando diversas ecuaciones de regresión; y transformación de los datos en percentiles específicos para la edad y el sexo, para Sitios individuales; obesidad total y “rankings” o clasificaciones de masa proporcional; así como otros índices tales como el cociente cintura-cadera, sumatoria de pliegues cutáneos, y perímetros corregidos por los pliegues cutáneos.

Existen varias razones por las cuales se miden las dimensiones corporales. Algunas de estas razones se discuten en la Sección 3. Si bien siempre existirá la ocasión de que sean necesarias mediciones antropométricas específicas y quizás inusuales, existe una sola “esencia” de sitios corporales, los cuales por lo general son incluidos en el perfil antropométrico de una persona. La adopción de un perfil y metodología standard permite que se realicen comparaciones en el ámbito local, nacional, e internacional, entre muestras grupales. En el texto siguiente se presenta esta “esencia” de sitios de medición.

## 2. EL SUJETO

Los sujetos deben estar informados sobre qué mediciones se llevaran a cabo, y deberán completar un formulario de consentimiento como parte de los pasos preliminares del protocolo experimental. A lo largo de la sesión de marcación y medición, el sujeto se mantiene de pie en forma relajada, con los brazos cómodos a los costados, y los pies levemente separados. Algunas mediciones requieren que el sujeto se pare con los pies juntos. Estas se identifican en el punto 5, “El perfil antropométrico”. El evaluador debería poder moverse fácilmente alrededor del sujeto y manipular el equipo. Esto se facilitará dejando el espacio adecuado para estos procedimientos de medición. Para que las mediciones se realicen lo más rápido y eficientemente posible, se les debería pedir a

los sujetos que se presenten con la mínima cantidad de ropa. Los trajes de baño (de dos piezas para las mujeres) son ideales para facilitar el acceso a todos los sitios de medición y, por lo tanto, la sala de medición debería estar a una temperatura confortable para el sujeto.

### 3. RECOLECCION DE DATOS

En la medida de lo posible se debería utilizar un asistente para que ayude al evaluador a anotar los datos. Es ideal que el ayudante conozca las técnicas de medición, ya que será capaz de verificar la precisión de la ubicación del sitio y de asegurar la secuencia correcta de los sitios de medición. A pesar de la cuidadosa atención en el seguimiento de las normativas, aún existe la posibilidad de que se cometan errores en el registro de los datos. Esto podría ocurrir debido a una mala pronunciación por parte del evaluador, por alguna falta de atención del ayudante, o por la falla del ayudante en seguir los pasos estipulados para eliminar tales errores. Idealmente, la recolección de datos debería incluir un evaluador y un ayudante para minimizar los errores de medición, pero en los grandes estudios se puede utilizar un equipo de antropometristas para que la recolección de datos sea más expeditiva.

Se debe recordar que el evaluador y el ayudante (o anotador) trabajan en equipo, y es la responsabilidad del anotador ayudar al evaluador cuando sea necesario. El anotador repite el valor que está registrando, permitiendo entonces al evaluador hacer un control inmediato. En algunos casos las mediciones pueden repetirse, y hasta tomarse por tercera vez. En el primer caso se utiliza el valor promedio. En el segundo caso, se utiliza la mediana para el análisis de datos.

### 4. EQUIPO ANTROPOMETRICO

Los siguientes elementos de equipamiento son las herramientas esenciales para el antropometrista.

#### Cintas Antropométricas

Para los perímetros se recomienda una cinta de acero flexible calibrada en centímetros, con gradaciones en milímetros. La cinta Lufkin (W606PM) es la cinta metálica de preferencia. Si se utilizan cintas de fibra de vidrio será necesario calibrarlas periódicamente contra una cinta de acero, ya que estas cintas no metálicas se pueden estirar con el tiempo. Si se utiliza cualquier otro tipo de cinta, ésta debería ser no extensible, flexible, no más ancha de 7 mm, y tener un

espacio en blanco de al menos 3 cm antes de la línea de registro del cero. Además de medir los perímetros, la cinta antropométrica también es necesaria para ubicar en forma precisa distintos sitios de pliegues cutáneos, y marcar las distancias desde los puntos o referencias anatómicas óseas. La cinta debe permanecer dentro de un estuche o caja con sistema de retracción automática.

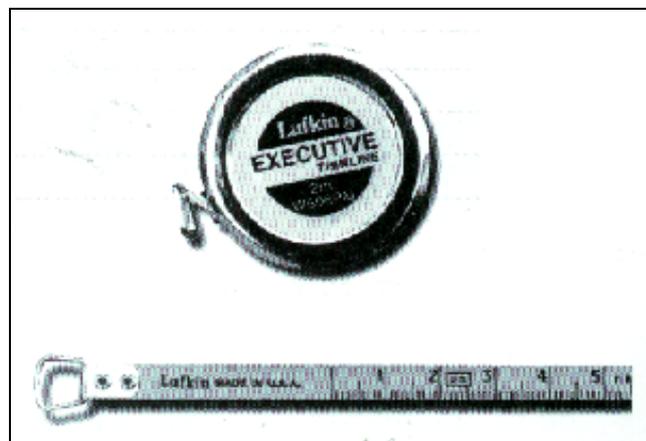


FIGURA 1. Cintas antropométricas

#### Estadiómetro

Este es el instrumento utilizado para medir la estatura y la altura sentado. Por lo general está fijo a una pared, de manera que los sujetos puedan alinearse verticalmente en la forma adecuada. Tiene una pieza deslizante que se baja hasta el vértex de la cabeza. Se recomienda que esta pieza se construya con algún dispositivo de traba o freno.

#### Balanzas

El instrumento tradicional de elección es una balanza con pesas, y con precisión lo más cercana a los 100 gr. En situaciones de campo, se han utilizado balanzas con resorte con una precisión lo más cercana a los 500 gr. Sin embargo, el uso de balanzas electrónicas se está volviendo más generalizado, y la precisión de algunas de estas balanzas es igual o mayor que las de pesas, suponiendo que la calibración se mantiene por igual en ambas máquinas. Por ejemplo, ahora se consiguen balanzas digitales de baño, relativamente baratas, que incorporan una célula de carga como censor (por ej., las balanzas AND-Mercury). Estas se pueden transportar fácilmente y pueden, por lo tanto, utilizarse en el laboratorio y en el campo. La precisión de estos instrumentos está dentro de los 50 gr. Pesos de calibración, certificados por algún departamento gubernamental de pesos y mediciones y que totalicen al menos 120 Kg., son necesarios como equipamiento standard.

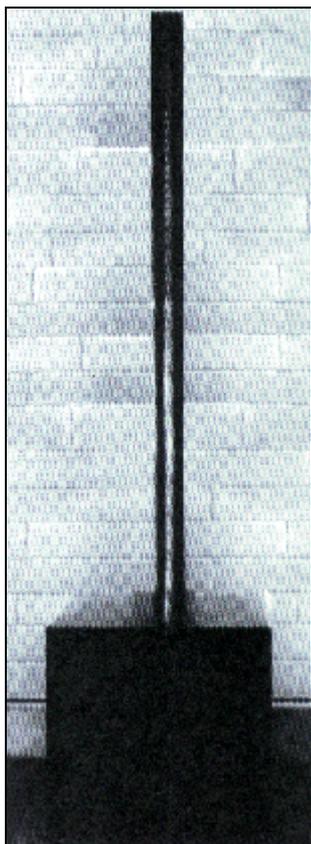


FIGURA 2. Estadiómetro amurado en la pared y caja antropométrica.

### Calibres para la medición de pliegues cutáneos

ISAK ha utilizado como instrumento de criterio o referencia los calibres Harpenden. Los fabricantes de estos calibres reportan una compresión de 10 gr/mm<sup>2</sup> en los nuevos calibres (ver Capítulo 4). Tienen un rango hasta aproximadamente 50 mm, en divisiones de 0.2 mm, pero podría interpolarse de manera precisa hasta lo más cercano a 0.1 mm. Como una alternativa se podrían utilizar los calibres Slim Guide. Son altamente confiables, tienen la misma capacidad de compresión que los Harpenden y producen lecturas casi idénticas (Anderson & Ross, 1986; Schmidt & Carter, 1990; ver Capítulo 4). Sin embargo, necesitan alguna adaptación en cuanto al posicionamiento y al manejo. Tienen un rango hasta 80 mm, lo cual podría ser una ventaja cuando se evalúan poblaciones no deportivas, aunque no tienen la resolución de los calibres Harpenden ya que las mediciones se pueden leer lo más cercano a 0.5 mm. Se debería destacar que la utilización de los datos de pliegues cutáneos a cualquier ecuación de regresión (ver Capítulo 7) debería tomarse con precaución si los calibres utilizados son diferentes al tipo descrito en el trabajo original.

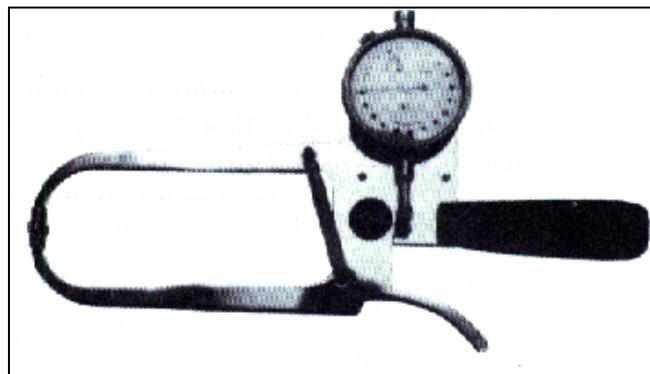


FIGURA 3. Calibre Harpenden para la medición de pliegues cutáneos

### Antropómetro

El antropómetro Siber-Hegner GPM con placa de pie es el instrumento de elección, aunque es relativamente caro. Este instrumento es utilizado para medir las alturas verticales entre puntos o referencias anatómicas específicas en el sujeto y el piso o la superficie en donde se asienta. Las estimaciones de las longitudes segmentarias utilizando las diferencias entre pares de alturas son llamadas longitudes segmentarias proyectadas. Por ejemplo, la longitud acromial-radial puede obtenerse por sustracción: altura acromial menos altura radial. Técnicas más recientes permiten la medición directa de las longitudes segmentarias utilizando un segmómetro, tal como se describe más adelante. El segmento superior del antropómetro Siber-Hegner GPM es referido como calibre deslizante grande. Se utiliza para medir longitudes segmentarias directas (por ej., radial-estiloidea), grandes diámetros óseos (por ej., biacromial), y diámetros no óseos (por ej., bideltoides).

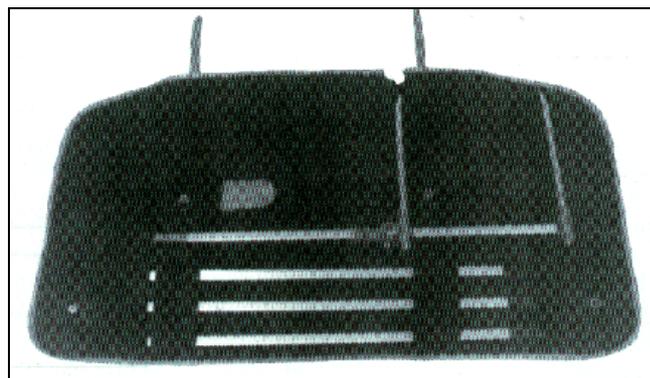


FIGURA 4. Antropómetro Siber-Hegner GPM

### Segmómetro

Este instrumento está fabricado a partir de una cinta de acero de carpintero que tiene adheridas dos ramas rectas de aproximadamente 7 cm de longitud cada una. Se utiliza para medir longitudes segmentarias

directamente. Algunas alturas (ileoespinal y trocantérea) que pueden medirse desde referencias o puntos anatómicos en el sujeto hasta la caja antropométrica (por lo que, luego, la altura de la caja es sumada a esta altura) también pueden medirse utilizando un segmómetro. El segmómetro está diseñado para ser utilizado en reemplazo del antropómetro (Carr, Balde, Repel & Ross, 1993), si bien no es adecuado para medir grandes diámetros óseos.

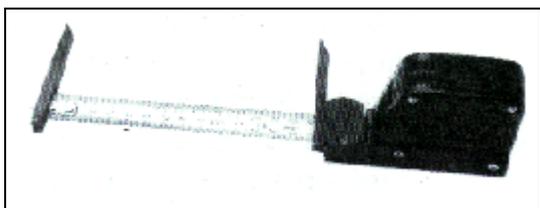


FIGURA 5. Segmómetro (la foto es cortesía del Dr. Tim Ackland)

### Calibres deslizantes grandes

Por lo general este instrumento es el segmento superior del antropómetro. Viene con dos ramas rectas que permiten las mediciones de grandes diámetros óseos como los diámetros bileocrestídeo y biacromial. Estas ramas están adheridas a una regla rígida de metal, lo cual es importante ya que se debe ejercer una presión considerable cuando se miden estas dimensiones óseas. Se debería verificar la distancia entre las ramas para asegurar que ha sido diseñado y armado correctamente.

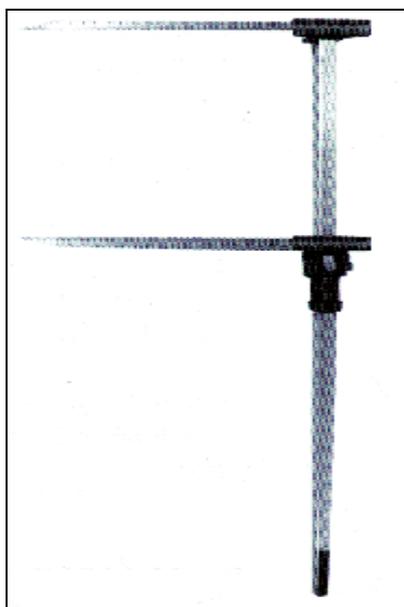


FIGURA 6. Calibres deslizantes grandes

### Calibres deslizantes pequeños

Estos calibres son utilizados para los diámetros del húmero y del fémur. El calibre Mitutoyo adaptado es el instrumento ideal para estas mediciones. Son calibres Vernier de ingeniería a los cuales se les ha agregado ramas más largas, las cuales posibilitan abarcar el diámetro biepicondilar del fémur y del húmero, y son altamente precisos (resolución de 0.1 mm). Otros calibres alternativos son los calibres óseos Harpenden, o el calibre deslizante grande que es parte del antropómetro Siher-Hegner, aunque utilizando este equipo existe una mayor posibilidad de pérdida de resolución. Los calibres óseos Harpenden son fáciles de utilizar pero la escala de medición puede ser menos confiable que la del Mitutoyo, especialmente si las ramas se aflojan. El calibre Siher-Hegner es más incómodo de manejar en diámetros relativamente pequeños, deslizantes tales como los diámetros biepicondilares, y carece de la necesaria resolución para estas mediciones óseas.

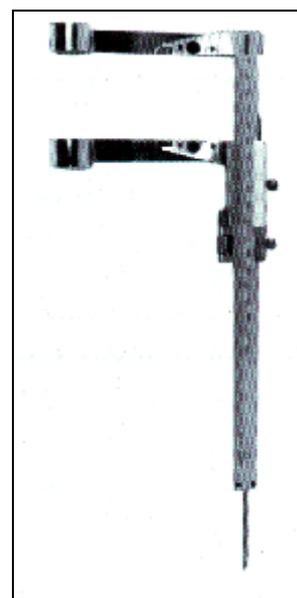


FIGURA 7. Calibres (óseos) deslizantes pequeños

### Calibres de ramas curvas

Para la medición del diámetro ántero-posterior del tórax es necesario este instrumento, el que tiene dos brazos o ramas curvas. Esto permite que las mismas se coloquen por encima del hombro para localizar los puntos anatómicos correctos. Antropómetros, como el Siher-Hegner GPM y el Harpenden, pueden adquirirse con ramas rectas y curvas intercambiables.

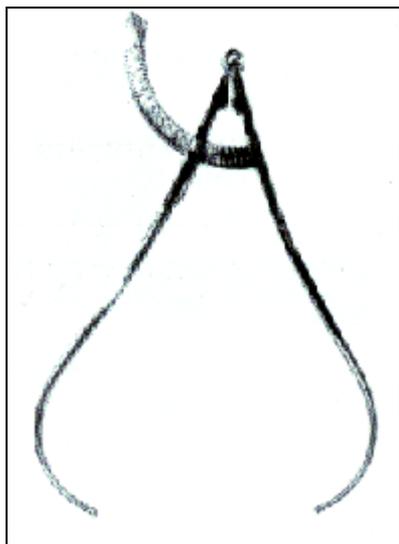


FIGURA 8. Calibres de ramas curvas

### Caja antropométrica

Esta caja (cubo) debería tener dimensiones con longitudes, de todos los lados, de aproximadamente 40 cm. Debería conocerse con exactitud la altura real de la caja utilizada en cualquier laboratorio. Es necesario realizar un corte en una de las caras de la caja para permitir que los pies del sujeto se coloquen por debajo de la caja durante la medición de la altura ileoespinal y trocantérea, utilizando un segmómetro. En estos casos, a la altura medida desde la caja a la referencia anatómica se le suma la altura de la caja. Esto representa la verdadera altura desde el suelo, y resguarda la columna del antropometrista que no necesita inclinarse hasta el suelo, sino solamente hasta el borde superior de la caja. La caja también es útil cuando se miden otras longitudes y diámetros en donde el sujeto necesita estar sentado (en la caja).

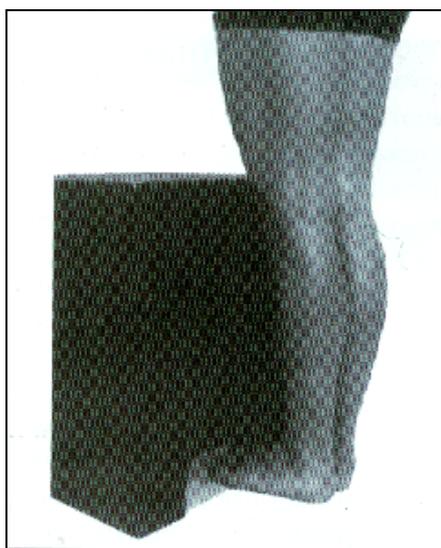


FIGURA 9. Caja antropométrica con una sección recortada

## 5. EL PERFIL ANTROPOMETRICO

Existen dos 'perfiles' generales comúnmente utilizados para la evaluación antropométrica, los perfiles denominados restringido y total. Ambos pueden registrarse en la misma proforma (Figura 10). La parte superior de la proforma incluye una sección en donde se completa la información demográfica. Esta incluye un número de identificación del test y del evaluador, nombre del evaluado, deporte u ocupación, fecha de nacimiento y del test, código posterior del sujeto (para futuros análisis geográficos), sexo, y país de nacimiento. También tiene un lugar para colocar la altura de la caja antropométrica (si se utiliza), así como un casillero para registrar los niveles de ejercicio físico. La información sobre los patrones de ejercicio comprende un resumen de la actividad regular durante los últimos doce meses. Las primeras dos mediciones que se toman en el perfil antropométrico, es decir, el peso y la estatura, también deberían anotarse en la parte superior de la proforma. A lo largo de este capítulo los sitios antropométricos son numerados de modo que corresponden al número de identificación en la proforma. Los 16 números de identificación sombreados en la proforma corresponden a variables incluidas en el perfil antropométrico restringido. Las otras 22 variables son las requeridas para completar el perfil antropométrico total. Se pueden agregar variables específicas a algún deporte o población en especial.

### Perfil antropométrico restringido

Además de la estatura y el peso, para este perfil restringido se necesitan medir los siguientes items, nueve pliegues cutáneos, cinco perímetros, y dos diámetros:

PLIEGUES CUTÁNEOS		PERÍMETROS	DIÁMETROS
Tríceps	Abdominales	Brazo (relajado)	Húmero
Subescapular	Muslo (frontal)	Brazo (flexionado)	Fémur
Bíceps	Pantorrilla medial	Cintura (mínima)	
Cresta iliaca	Axila medial	Glúteos (cadera)	
Supraespinal			Pantorrilla (máximo)

TABLA 1. Sitios de mediciones incluidos en el perfil restringido

Para una mayor eficiencia del perfil, estos sitios serán identificados en este capítulo con el símbolo ®. Las referencias anatómicas necesarias para la ubicación exacta de estos sitios también están identificados con este símbolo ®. La medición de estos sitios (junto con la estatura y el peso), permitirá que se realicen los

cálculos necesarios para obtener el somatotipo, la grasa corporal relativa (utilizando un número restringido de ecuaciones de predicción), índices del área de superficie corporal, índice de masa corporal (IMC o BMI), cociente cintura/cadera, patrones de distribución de grasas, y perímetros corregidos por los pliegues cutáneos. También pueden realizarse otras comparaciones como estimaciones de la obesidad y rankings proporcionales de peso, en relación a otras poblaciones de interés.

### Perfil antropométrico total

Además de la estatura y el peso corporal, el perfil antropométrico total o completo incluye la medición de nueve pliegues cutáneos, trece perímetros, y dieciséis longitudes y diámetros:

PLIEGUES CUTÁNEOS PERIMETROS		LONGITUDES/ ALTURAS	DIAMETROS
Triceps	Cabeza	Acromial-radial	Biacromial
Subescapular	Cuello	Radial-estiloidea	Bi-iliocrestídeo
Bíceps	Brazo (relajado)	Medioestiloidea- dactiloidea	Transverso del tórax
Cresta iliaca	Brazo (flexionado)	Ileoespinal hasta el piso	Antero posterior del tórax
Supraespinal abdominal	Antebrazo (máximo)	Trocantéra hasta el piso	húmero
Muslo (frontal)	Muñeca (estiloides destal)	Trocantéra-tibial lateral	fémur
Pantorrilla medial	Tórax (mesoesternal)	Tibial lateral hasta el piso	
Axila medial	Cintura mínima	Tibial medial- maleolar medial	
	Glúteos (cadera)	Longitud del pie	
	Muslo (1 cm del glúteo)	Altura sentado	
	Muslo (med troc-tib-lat)		
	Pantorrilla (máxima)		
	Tobillo (mínimo)		

**TABLA 2.** Sitios incluidos en el perfil completo

La medición de estos sitios (además de la estatura y el peso corporal) permitirá que se realicen los cálculos del somatotipo, la grasa corporal relativa (utilizando un gran número de ecuaciones de regresión), índices

del área de la superficie corporal, índice de masa corporal (body mass index), cociente cintura-cadera, patrones de distribución de grasas, y perímetros corregidos por los pliegues cutáneos. El perfil total o completo también permite estimar las masas ósea, muscular, grasa, y residual utilizando la técnica de fraccionamiento de las masas corporales (Drinkwater & Ross, 1980; Kerr, 1988). Debido a que están incluidas las longitudes segmentarias, se pueden realizar análisis de proporcionalidad. También se pueden llevar a cabo otras comparaciones como estimaciones de la obesidad y rankings de proporcionalidad del peso en relación a otras poblaciones de interés. En este capítulo también se describen otros sitios antropométricos específicos para otros deportes. Los mismos se incluyen ya que frecuentemente son utilizados para realizar comparaciones entre poblaciones deportivas específicas (por ejemplo, la envergadura de brazos en los nadadores).

### 5.1. Estatura

Existen tres técnicas generales para medir la estatura (o talla): parado libre, altura en extensión máxima, y reclinado. Esta última podría utilizarse para niños de hasta 2-3 años o adultos imposibilitados de pararse, pero no será considerada en estas páginas. Los otros dos métodos dan valores levemente diferentes. También debe recordarse que hay variación durante el día. Por lo general, los sujetos son más altos en la mañana y más bajos en el atardecer. Es común observar una reducción en la altura de casi el 1 0/0 durante el transcurso del día (Reilly, Tyrrell & Troup, 1984; Wilby, Linge, Reilly & Troup, 1985). Si se van a realizar mediciones reiteradas es conveniente tomarlas a la misma hora del día en que se hizo la evaluación original.

### Equipamiento

En el laboratorio se debería montar un estadiómetro contra una pared y utilizarse junto con una escuadra móvil en ángulo recto, de al menos 6 cm de ancho, la cual pueda ser colocada firmemente sobre la cabeza del sujeto mientras se fija al estadiómetro. La superficie del piso debe ser dura y estar nivelada.

## PROFORMA DE ANTROPOMETRÍA

Nro. Test: .....  
 Nombre: .....  
 Fecha de nacim.: .....  
 Fecha de evaluación: .....  
 Código posterior del sujeto: .....  
 Sexo:     M     F  
 País de nacimiento: .....  
 Altura de la caja: .....  
 Peso (Kg): ..... Talla (cm):.....

Lab: ID del evaluador: .....  
 Deporte: .....

Intensidad	Frecuencia	Duración
Muy baja	≤ 2	< 3
Caminata	> 3	3-12
Intensa		> 12

	Nro.	Sitio	Medic. 1	Medic. 2	Medic. 3	Mediana
<b>PLIEGUES</b>	1	Tríceps				
<b>CUTÁNEOS</b>	2	Subescapular				
<b>(mm)</b>	3	Bíceps				
	4	Cresta iliaca				
	5	Supraespinal				
	6	Abdominal				
	7	Muslo (frontal)				
	8	Pantorrilla medial				
	9	Axila medial				
<b>PERÍMETROS</b>	10	Cabeza				
<b>(cm)</b>	11	Cuello				
	12	Brazo (relajado)				
	13	Brazo (flexionado en tensión)				
	14	Antebrazo (máximo)				
	15	Muñeca (estiloides distal)				
	16	Tórax (mesoesternal)				
	17	Cintura (mínima)				
	18	Glúteos (cadera, max.)				
	19	Muslo (1 cm. del glúteo)				
	20	Muslo (medial tro-tib-lat)				
	21	Pantorrilla (máximo)				
	22	Tobillo (mínimo)				
<b>LONGITUDES</b>	23	Acromial-radial				
<b>(cm)</b>	24	Radial-estiloidea				
	25	Medioestiloidea-dactiloidea				
	26	Altura ilioespinal				
	27	Altura trocantérea				
	28	Trocantérea-tibial lateral				
	29	Tibial lateral hasta el piso				
	30	Tibial medial-maleolar medial				
<b>DIÁMETROS</b>	31	Biacromial				
<b>LONGITUDES</b>	32	Biiliocrestídeo				
<b>(cm)</b>	33	Longitud del pie				
	34	Talla sentado				
	35	Tórax transverso				
	36	Tórax antero-post.				
	37	Húmero				
	38	Fémur				
<b>SITIOS</b>	39					
<b>DEPORTIVOS</b>	40					
<b>ESPECIFICOS</b>	41					
	42					

*FIGURA 10. Pro forma antropométrica standard*

El estadiómetro debería tener un rango mínimo de medición de 60 cm a 210 cm. La precisión de medición necesaria es de 0.1 cm. Debería controlarse periódicamente contra una altura standard como el antropómetro Siber-Hegner. En el campo, cuando no es posible contar con un estadiómetro, se podría utilizar una cinta para perímetros fijada a una pared, controlando la altura y que esté posicionada verticalmente, en conjunción con una tabla a 90 grados, como un cuadrado grande de carpintero. Como “último recurso” se podría utilizar un pedazo de papel pegado a una pared para identificar la altura, usando un cartón en la cabeza. La evaluación de la altura puede llevarse a cabo utilizando una cinta de acero. Este método no es aceptable en el laboratorio.

### Metodología

La técnica para registrar la altura en extensión máxima requiere que el sujeto se pare con los pies y los talones juntos, la cara posterior de los glúteos y la parte superior de la espalda apoyada en el estadiómetro. Cuando la cabeza se ubica en el plano de Frankfort no necesita estar tocando el estadiómetro. El plano de Frankfort se logra cuando el arco orbital (margen inferior de la órbita ocular) está alineado horizontalmente con el trago (protuberancia cartilaginosa superior de la oreja). Cuando está alineado, el vértex es el punto más alto del cráneo como lo muestra la Figura 11.

El evaluador coloca las manos debajo de la mandíbula del sujeto con los dedos tomando los procesos mastoideos. Se le pide al sujeto que respire hondo y que mantenga la respiración, y mientras se mantiene la cabeza en el plano de Frankfort, el evaluador aplica una suave tracción hacia arriba a través de los procesos mastoideos. El anotador coloca la pieza triangular en escuadra firmemente sobre el vértex, apretando el cabello lo mas que se pueda. El anotador ayuda además a observar que los pies se mantengan en posición y que la cabeza siga estando en el plano de Frankfort. La medición se toma al final de una respiración profunda.

### 5.2. Peso corporal

El peso corporal muestra una variación diurna de aproximadamente 1 kg en los niños y 2 kg en los adultos (Sumner & Whitacre, 1931). Los valores más estables son los que se obtienen regularmente en la mañana, doce horas después de haber ingerido alimentos y luego del vaciado urinario. Ya que no siempre es posible estandarizar el tiempo de evaluación, podría ser importante registrar la hora del día en la cual se realiza la medición.

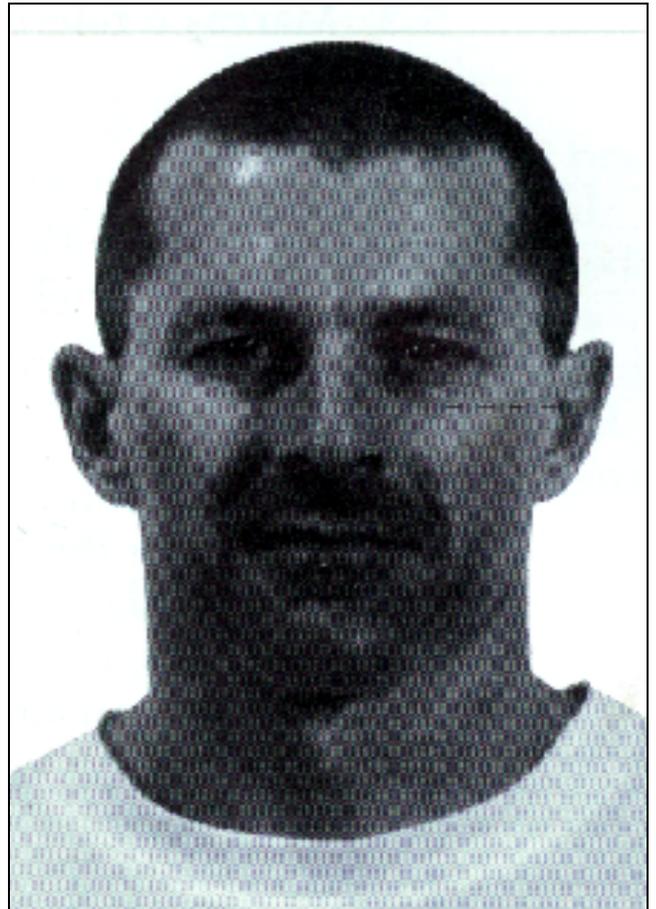


FIGURA 11. La cabeza en el plano de Frankfort

### Equipamiento

El instrumento de elección es una balanza con pesas o balanzas electrónicas portátiles que incorporan una célula de carga. Ambas deben tener una precisión dentro de los 100 gr.

### Método

El peso desnudo puede medirse pesando primero la ropa que se usará durante la evaluación, restándolo luego del peso total. Por lo general, el peso con ropa mínima es lo suficientemente preciso. Controlar que la balanza esté en el registro cero; luego el sujeto se para en el centro de la misma sin apoyo y con el peso distribuido en forma pareja entre ambos pies. La cabeza deberá estar elevada y los ojos mirando directamente hacia adelante.

### 5.3. Marcas o referencias anatómicas (ver Figura 12)

Las referencias anatómicas son puntos esqueléticos identificables que, por lo general, están cerca de la superficie corporal y que son los “marcadores” que identifican la ubicación exacta del sitio de medición, o a partir del cual se localiza un sitio de tejido blando,

por ejemplo, el pliegue subescapular y el perímetro de brazo. Todas las marcas se encuentran a través del tacto. Para la comodidad del sujeto, las uñas de los dedos del evaluador deberían mantenerse cortas.

La marca es identificada con el pulgar o el dedo índice. Se retira el dedo del punto para evitar cualquier deformación de la piel, luego se trata de reubicar, y se marca el punto con un lápiz de fibra fino o con una lapicera dermatográfica. El sitio es marcado directamente sobre el punto. Luego la marca es chequeada nuevamente para asegurarse que no haya habido desplazamiento de la piel con relación al hueso subyacente.

Las marcas anatómicas aquí descritas son las necesarias para los sitios de medición incluidos en este capítulo. Todas las marcas son identificadas antes de realizar cualquier medición. El orden de su identificación es como se enumera aquí. Estos sitios representan sólo una pequeña porción del número potencialmente infinito de sitios que existen sobre la superficie corporal. Se los incluye ya que son las marcas típicamente referidas cuando se hace el perfil morfológico de los individuos y son consistentes con las recomendaciones del grupo de trabajo de ISAK que se ocupa de la Estandarización de Mediciones e Instrumentación, y respaldadas por el Laboratorio de Esquemas de Asistencia de Standards (LSAS) de la Comisión de Deportes de Australia. Sin embargo, debería destacarse que hay otros sitios que son frecuentemente necesarios para los análisis ergonómicos, para los estudios de crecimiento y desarrollo en los niños, y para poblaciones deportivas específicas. [Nota: Las marcas esenciales para el perfil restringido son identificadas con el símbolo ®].

### **Acromial ®**

#### *Definición:*

Es el punto en el borde superior y lateral del proceso acromial, en la mitad entre los bordes anterior y posterior del músculo deltoides, cuando se lo ve desde el lateral.

#### *Ubicación:*

Parado por detrás y del costado derecho del sujeto, el evaluador palpa a lo largo de la espina del omóplato hasta la parte lateral del acromion. Este representa el comienzo del borde lateral, el cual normalmente corre hacia adelante, levemente superior y medialmente.

Presionar con la cara plana de un lápiz en la cara lateral del acromion para confirmar la ubicación del borde. La marca es el punto en la parte más lateral y

superior del borde, que se juzga que está en la posición deltoidea media cuando se lo observa desde el costado.

### **Radial ®**

#### *Definición:*

El punto en el borde proximal y lateral de la cabeza del radio.

#### *Ubicación:*

Palpar hacia abajo en la cavidad lateral del codo derecho. Debería poderse sentir el espacio entre el cóndilo del húmero y la cabeza del radio. La leve rotación del antebrazo se percibe como la rotación de la cabeza del radio.

### **Punto medio acromial-radial ®**

#### *Definición:*

Es el punto equidistante entre las marcas acromial y radial.

#### *Ubicación:*

Medir la distancia lineal entre la marca acromial y la marca radial con el brazo relajado y extendido al costado. Realizar una pequeña marca horizontal al nivel del punto medio entre estas dos marcas. Prolongar esta marca alrededor de las caras posterior y anterior del brazo, en una línea horizontal. Esto es necesario para ubicar los sitios para la medición de los pliegues del tríceps y bíceps. Cuando se marcan los sitios para los pliegues de tríceps y bíceps el sujeto debe colocarse en posición anatómica. El pliegue del tríceps se toma en la parte más posterior del tríceps y el del bíceps en la parte más anterior del bíceps cuando se ve de costado (sobre el nivel medio marcado entre las marcas acromial y radial).

### **Estiloideo**

#### *Definición:*

Es el punto más distal sobre el margen lateral de la cabeza inferior del radio (proceso estiloideo del radio).

#### *Ubicación:*

Con la uña del pulgar, el antropometrista palpa el espacio triangular identificado por los tendones

musculares de la muñeca, inmediatamente por encima del pulgar. Este sitio también es denominado “tabaquera anatómica”. Una vez identificada la tabaquera, palpar el espacio entre el radio distal y la cara más proximal del primer metacarpiano con el fin de identificar correctamente el proceso estiloideo.

### **Estiloideo medio**

#### *Definición:*

Es el punto medio, en la superficie anterior de la muñeca, sobre una línea horizontal al nivel del punto estiloideo.

#### *Ubicación:*

La cinta se alinea con la marca estiloidea y se traza una línea horizontal hasta cerca del punto medio de la muñeca. El punto medio se estima entre los costados medial y lateral de la muñeca. En esta posición se traza una línea vertical que intersecta a la horizontal.

### **Dactiloideo**

#### *Definición:*

Es la punta del dedo medio (tercero) cuando el brazo está relajado hacia abajo, con los dedos estirados.

#### *Ubicación:*

No se necesitan marcas para este sitio ya que es el extremo del tercer dedo. Los otros dedos son llamados segundo (dedo índice), cuarto y quinto (dígitos, o anular y meñique). Las uñas no se deben utilizar como marcas para ubicar el extremo del dedo.

### **Subescapular ®**

#### *Definición:*

Es el punto más inferior del ángulo inferior del omóplato.

#### *Ubicación:*

Palpar el ángulo inferior del omóplato con el pulgar izquierdo. Si existe alguna dificultad para encontrar el ángulo inferior del omóplato, el sujeto debería lentamente llevar el brazo derecho hacia atrás de la espalda. El ángulo inferior del omóplato debería verse continuamente, cuando la mano es colocada nuevamente al costado del cuerpo. Se debería realizar

un control final de esta marca; con la mano al costado en la posición funcional.

### **Mesoesternal**

#### *Definición:*

El punto medio del esternón al nivel central de la articulación de la cuarta costilla con el esternón articulación condro-esternal).

#### *Ubicación:*

Esta marca es ubicada por tacto comenzando desde la cara superior de las clavículas. Utilizando el pulgar el antropometrista debería desplazarse desde la clavícula al primer espacio intercostal (entre la primera y la segunda costilla). Luego el pulgares reemplazado por el dedo índice, y se repite el procedimiento, yendo hacia abajo para el segundo, tercero, y cuarto espacios intercostales. La cuarta costilla se ubica entre los dos últimos espacios.

### **Xifoideo ®**

#### *Definición:*

El punto xifoideo se encuentra en la extremidad inferior del esternón. La marca es la punta inferior del xifoides.

#### *Ubicación:*

Se ubica por tacto yendo en dirección medial del arco costal izquierdo o derecho, hacia el esternón. Estos arcos (que forman el ángulo infraesternal) se unen con la articulación xifo-esternal.

### **Línea ilio-axilar ®**

#### *Definición:*

Es la línea vertical imaginaria que une el punto medio observado de la axila con el borde lateral superior del iliún.

#### *Ubicación:*

Con el brazo del sujeto colocado horizontalmente en una posición lateral, ubicar el borde lateral superior del iliún utilizando la mano derecha, y el punto medio de la axila visible. La mano izquierda se utiliza para estabilizar el cuerpo brindando resistencia en el costado izquierdo de la pelvis. La línea vertical imaginaria une estas dos marcas.

**Iliocrestídeo** ®*Definición:*

Es el punto en la cara más lateral del tubérculo iliaco, en la línea ílio-axilar.

*Ubicación:*

Con el brazo del sujeto colocado horizontalmente en una posición lateral, localizar el borde más lateral y superior del ilión usando la mano derecha. La mano izquierda es utilizada para estabilizar el cuerpo brindando resistencia en el costado izquierdo de la pelvis. La marca se realiza en el borde identificado del ilión, el cual es intersectado por la línea vertical imaginaria desde el punto medio axilar.

**Ilioespinal** ®*Definición:*

Es el punto más inferior y prominente de la espina iliaca anterosuperior.

*Ubicación:*

Para localizar el punto ilioespinal, palpar la cara superior del hueso iliaco y desplazarse anterior e inferiormente a lo largo de la cresta, hasta que la prominencia del hueso iliaco cambie de dirección hacia atrás. El punto es el margen o cara inferior donde el hueso apenas puede sentirse. Si se hace difícil ubicar el punto o marca, se le pide al sujeto que levante el talón del pie derecho y rote el fémur hacia afuera. Como el sartorio se inserta de origen en el sitio ilioespinal, este movimiento del fémur permite palpar el músculo y seguirlo hasta su origen.

**Trocantéreo***Definición:*

Es el punto más superior del trocánter mayor del fémur, no el punto más lateral.

*Ubicación:*

El sitio es identificado palpando la cara lateral del glúteo mientras el evaluador está parado por detrás del sujeto. Es aconsejable sostener la parte izquierda de la pelvis del sujeto con la mano izquierda mientras se aplica presión con la mano derecha. Una vez identificado el trocánter mayor, se debería palpar hacia arriba para localizar la cara más superior de este punto óseo. [Nota: Este sitio es difícil de ubicar en

personas que tienen una gran capa de tejido adiposo cubriendo el trocánter mayor].

**Tibial medial***Definición:*

El punto más superior del borde medial de la cabeza de la tibia.

*Ubicación:*

El punto tibial medial está aproximadamente en el mismo plano transversal que el tibial lateral. Se marca con el sujeto sentado en la caja, con la pierna derecha cruzada sobre la rodilla izquierda, de manera que se pueda remarcar el borde medial de la cabeza de la tibia en la pierna. Palpar el sitio limitado por el cóndilo femoral medial y la tuberosidad interna de la tibia.

La marca debería realizarse en el borde proximal Medial, mientras la pierna se mantiene en esta posición.

**Maleolar***Definición:*

Es el punto más distal del maléolo medial de la tibia.

*Ubicación:*

Esta marca puede localizarse más fácilmente palpando con la uña del pulgar desde abajo y dorsalmente. Es el punto distal (no el más externo) del maléolo medial de la tibia. Se marca con el sujeto sentado en la caja con la pierna derecha cruzada sobre la rodilla izquierda de manera que se pueda marcar la cara medial en la parte inferior de la pierna.

**Tibial lateral***Definición:*

Es el punto más superior del borde lateral de la cabeza de la tibia.

*Ubicación:*

Por lo general es una marca difícil de localizar correctamente debido a los gruesos ligamentos laterales que atraviesan la articulación de la rodilla. Palpar el sitio usando la uña del pulgar, procediendo según las siguientes indicaciones. Ubicar el área limitada por el cóndilo lateral del fémur y la porción antero-lateral de la cabeza de la tibia. Presionar

firmemente con el fin de ubicar el borde superior y lateral de la cabeza de la tibia. Por lo general, es útil pedirle al sujeto que flexione y extienda varias veces la rodilla para asegurarse que se ha localizado la

posición correcta. La marca debería realizarse aproximadamente a un tercio de distancia a lo largo del borde, siguiendo una dirección ántero-posterior.

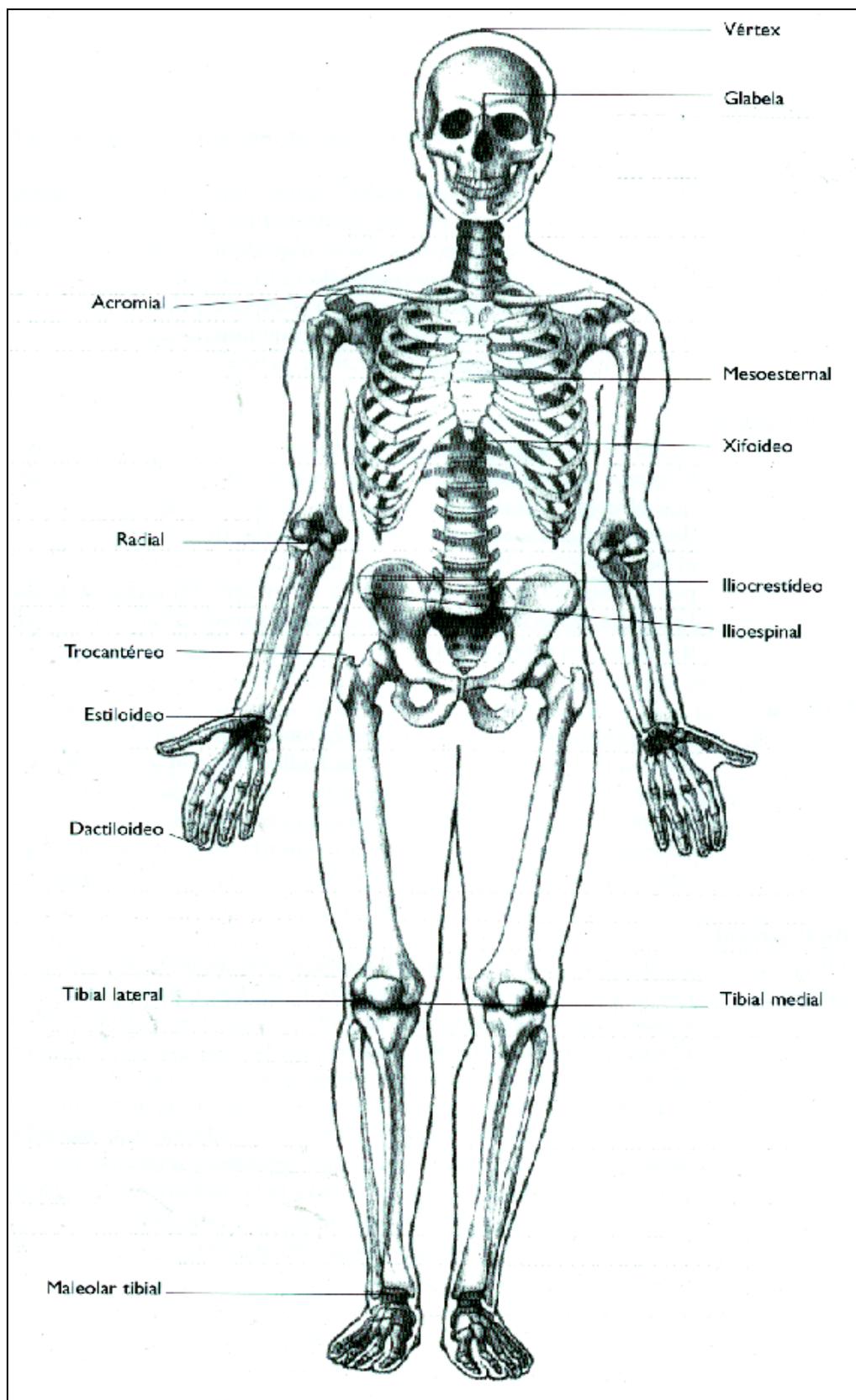


FIGURA 12. Puntos o referencias anatómicas.

## 5.4. Pliegues cutáneos

### 5.4.1. Técnicas para medir los pliegues cutáneos

La evaluación precisa de las mediciones antropométricas, en particular el grosor de los pliegues cutáneos puede ser difícil y, por lo tanto, es necesario un cuidado extremo. En general, no se presta la suficiente atención a la técnica precisa de medición y, en consecuencia, no se puede lograr reproductibilidad. La descripción de los procedimientos de medición parece bastante simple, pero es esencial un alto grado de conocimiento de la técnica para obtener resultados consistentes, especialmente cuando se aplican bajo condiciones experimentales de campo.

Los antropometristas que deseen convertirse en evaluadores de criterio (aquellos que no cometen errores sistemáticos y que pueden demostrar reproductibilidad), tienen que estar capacitados para realizar rutinariamente mediciones precisas. Por lo tanto, es muy importante que se adhieran estrictamente a los protocolos standards presentados en este capítulo:

- Antes de evaluar a deportistas o a otras personas con propósitos de control, el evaluador debería adquirir la técnica apropiada para medir los pliegues cutáneos. Se ha mostrado que esto reduce el nivel de error en mediciones repetidas de un mismo evaluador y, a su vez, entre investigadores (Jackson, Pollock & Gettman, 1978; Lohman & Pollock, 1981). Para poder establecer reproductibilidad se deberían realizar mediciones repetidas en, al menos, veinte sujetos, y un antropometrista con experiencia ayudar a establecer esta precisión. La comparación de resultados marcará luego cualquier punto débil en la técnica.
- Asegurarse que los calibres de pliegues cutáneos estén midiendo en forma precisa la distancia entre el centro de sus platillos de compresión utilizando las ramas cortas de un calibre Vernier de ingeniero. Si es posible, controlar que la tensión permanezca constante a lo largo del rango de medición (ver Capítulo 4). Una vuelta total de la aguja en el dispositivo de lectura representan 20 mm, y esto se refleja en una pequeña escala en el propio calibre Harpenden. Antes de utilizar el calibre asegurarse que la aguja esté en el cero. Después de destrabar el pequeño tornillo, la rotación del anillo exterior del calibre se utiliza

para ajustar la posición del dial del calibre directamente bajo la aguja.

- El sitio del pliegue cutáneo debería ser cuidadosamente ubicado utilizando las marcas anatómicas correctas. Es de particular importancia que el evaluador que no tenga experiencia marque en la piel con una fibra fina o un bolígrafo dermatográfico todas las marcas anatómicas. Se ha demostrado que el grosor de los pliegues varía en 2-3 mm promedio cuando los calibres se colocan a 2.5 cm del sitio correcto (Ruiz, Colley & Hamilton, 1971). También se observó que la ubicación incorrecta de los sitios para la medición de los pliegues constituye la mayor fuente de error entre los investigadores (Ruiz y cols., 1971). Para las mediciones siempre se utiliza el lado derecho del cuerpo, independientemente del lado preferido o hábil del sujeto (Ross & Marfell-Jones, 1991). A veces se torna imposible utilizar el lado derecho debido a alguna lesión (edemas, yesos, etc.), y otras veces es deseable comparar los dos lados del cuerpo luego de alguna lesión y/o rehabilitación, en cuyos casos se podría utilizar el lado izquierdo. Las comparaciones entre el lado derecho y el izquierdo del cuerpo han indicado ya sea, que no hay diferencias significativas en los pliegues (Womersley & Durnin, 1973), o que las diferencias, aunque estadísticamente significativas, no son de importancia práctica (Martorell, Mendoza, Mueller & Pawson, 1988), aún cuando la masa muscular y ósea del sujeto esté hipertrofiada en uno de los lados, como ocurre con los jugadores de tenis (Gwinup, Chelvam & Steinberg, 1971; Jokl, 1976; Montoye, Smith, Fardon & Howley, 1980). De cualquier manera, las variaciones a los procedimientos standards deberían registrarse en la proforma. Por ejemplo, si el tiempo lo permite, los sujetos cuyo lado dominante es el izquierdo podrían ser evaluados en su lado dominante para los análisis de somatotipo, como fuera originalmente descrito por Heath y Carter (1967).
- El pliegue se toma en la línea marcada. Debe pellizcarse de manera que una doble porción de piel más el tejido adiposo subcutáneo subyacente se mantenga en presión entre el dedo pulgar y el índice. Los extremos del pulgar y el índice deben estar en línea con el sitio marcado. La parte posterior de la mano debería mirar al evaluador. Se debe tener cuidado de no presionar también tejido muscular subyacente. Con el fin de que esto no ocurra, el índice y el pulgar rotan el pliegue levemente, asegurando también que haya un

pliegue suficiente para tomar la medida. Si existe alguna dificultad, pedirle al sujeto que contraiga el músculo hasta que el evaluador esté seguro de haber tomado solamente piel y tejido subcutáneo. Debido a que también se está midiendo una doble capa de piel (dermis), parte de la variabilidad podría atribuirse a variaciones en el grosor de la piel en diferentes sitios del cuerpo y entre distintas personas (Martin, Ross, Drinkwater & Clarys, 1985). Si bien el grosor de la piel disminuye con la edad [debido a cambios en la estructura del colágeno (Carter, 1980)], por lo general esto no debería considerarse una variable importante ya que está fuera del alcance de la resolución para la detección con los calibres.

- Los bordes más cercanos de los platillos de compresión de los calibres son aplicados a 1 cm inferior del pulgar y el índice, al sostener un pliegue en orientación vertical; ante un pliegue de orientación oblicua, el calibre debería ser aplicado a un cm de los dedos, hacia afuera, manteniendo el mismo ángulo de 90 grados. Si el calibre es colocado demasiado profundo o demasiado superficial se registrarán valores incorrectos. Como regla, los calibres deberían ubicarse a una profundidad que llegue aproximadamente a la mitad de la uña del dedo. En este caso, la práctica también es necesaria para asegurarse que se toma el mismo tamaño del pliegue, en el mismo lugar, cada vez.
- El calibre siempre se sostiene en ángulo de 90 grados con la superficie del sitio del pliegue, en todos los casos. Si las ramas del calibre se deslizan, o si se alinean incorrectamente, la medición registrada podría ser inexacta. Asegurarse de que la mano que toma el pliegue sobre la piel siga comprimiendo el pliegue mientras el calibre está en contacto con el mismo.
- La medición se registra dos segundos después de haber aplicado la presión total de los calibres (Kramer & Ulmer, 1981; Ross & Marfell-Jones, 1991). Es importante que el evaluador se asegure de que los dedos que sostienen el calibre no estén evitando que el mismo esté ejerciendo toda la presión. En el caso de pliegues grandes, la aguja todavía puede estar moviéndose, en este momento. El pliegue es registrado en ese momento (después de los dos segundos), de cualquier modo. Es necesaria la standarización ya que el tejido adiposo es compresible (Martin y cols., 1985). El registro constante del tiempo permite las

comparaciones test/retest mientras se controla la compresibilidad del pliegue.

- Si es posible, se deberían tomar 2-3 mediciones de cada sitio, utilizándose el valor promedio en cualquier cálculo posterior si se realizan dos mediciones, y la mediana si se registran tres valores. Es especialmente importante que el principiante repita las mediciones de modo de poder establecerse su confiabilidad y reproductibilidad. En la medida de las posibilidades se debería contar con un ayudante para registrar los valores, que, a su vez, ayude a estandarizar las técnicas de medición. En el Capítulo 13 se muestran los niveles recomendados de confiabilidad intra-evaluador (0/oTEM) para mediciones repetidas de los pliegues cutáneos. Si no se alcanzan estos niveles, se deberían tomar mediciones adicionales.
- Los pliegues deberían tomarse en forma sucesiva para evitar desviaciones o vicios del evaluador. Es decir, se obtiene una serie completa de datos de todos los pliegues antes de repetir las mediciones una segunda y tercera vez. Esto también podría ayudar a reducir los efectos de la compresión sobre el pliegue. Los pliegues deberían ser medidos en el mismo orden en que aparecen en la proforma, de modo que el asistente esté familiarizado con la rutina y que se minimicen los errores. [Nota: Si las mediciones consecutivas de los pliegues arrojan valores más pequeños, el tejido adiposo probablemente está siendo comprimido donde el contenido de líquido intra y extracelular se está reduciendo gradualmente. Esto ocurre más frecuentemente en los sujetos más obesos. En este caso, el evaluador debería continuar con el siguiente sitio y volver al sitio original luego de varios minutos].
- No se deberían tomar mediciones de pliegues cutáneos luego del entrenamiento o la competencia, después de una sesión de sauna, de nadar o de darse una ducha, ya que el ejercicio, el agua caliente y el calor producen hiperemia (aumenta del flujo sanguíneo) en la piel con el consiguiente aumento en el grosor del pliegue. Por otro lado, se ha sugerido que la deshidratación (Consolazio, Johnson & Pecora, 1963) causa que el grosor del pliegue cutáneo aumente debido a cambios en la turgencia (rigidez) de la piel.

## 5.4.2. Marcas anatómicas para los pliegues cutáneos - ver Figuras 15 y 16

### 1. Tricipital®

Este pliegue se toma con el pulgar y el dedo índice izquierdos en la marca de corte posterior señalada sobre la línea media acromial-radial. El pliegue es vertical y paralelo al eje longitudinal del brazo. El pliegue se toma en la superficie más posterior del brazo, sobre el tríceps, cuando se ve de costado. El sitio marcado debería poder verse de costado, indicando que es el punto más posterior del tríceps, mientras se mantiene la posición anatómica (al nivel de la línea acromial-radial media). Para la medición, el brazo debería estar relajado con la articulación del hombro con una leve rotación externa, y el codo extendido al costado del cuerpo.

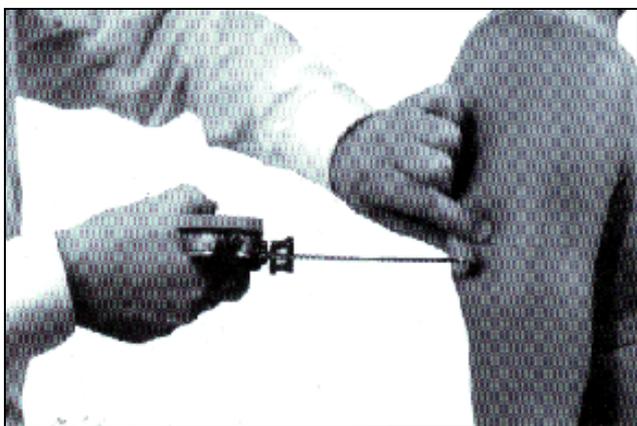


FIGURA 13. Medición del pliegue tricipital

### 2 Subescapular®

El sujeto debe pararse con los brazos a los costados. El pulgar palpa el ángulo inferior del omóplato para determinar el punto inferior más sobresaliente. El pliegue de 2 cm, se toma con el pulgar e índice izquierdos en el sitio marcado, en una dirección que se desplaza lateralmente y en forma oblicua hacia abajo, a partir de la marca subescapular, en un ángulo (aproximadamente de 45 grados),\_determinado por las líneas naturales de pliegue de la piel.

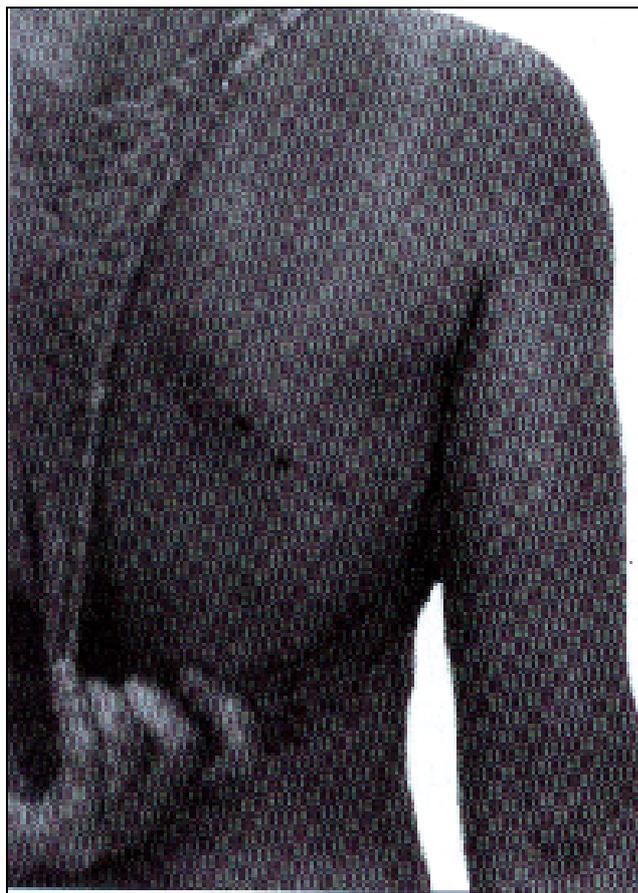


FIGURA 14 a. Ubicación de la marca subescapular.

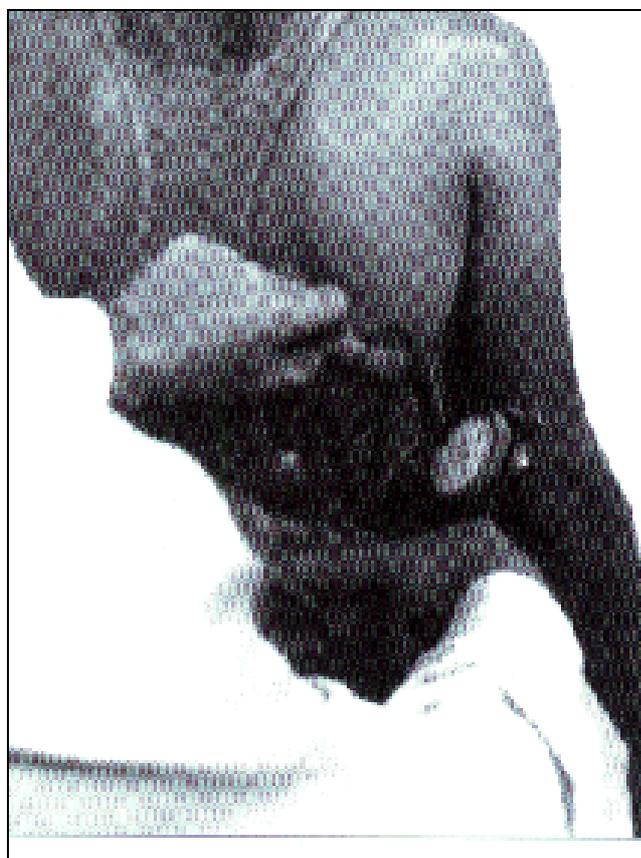
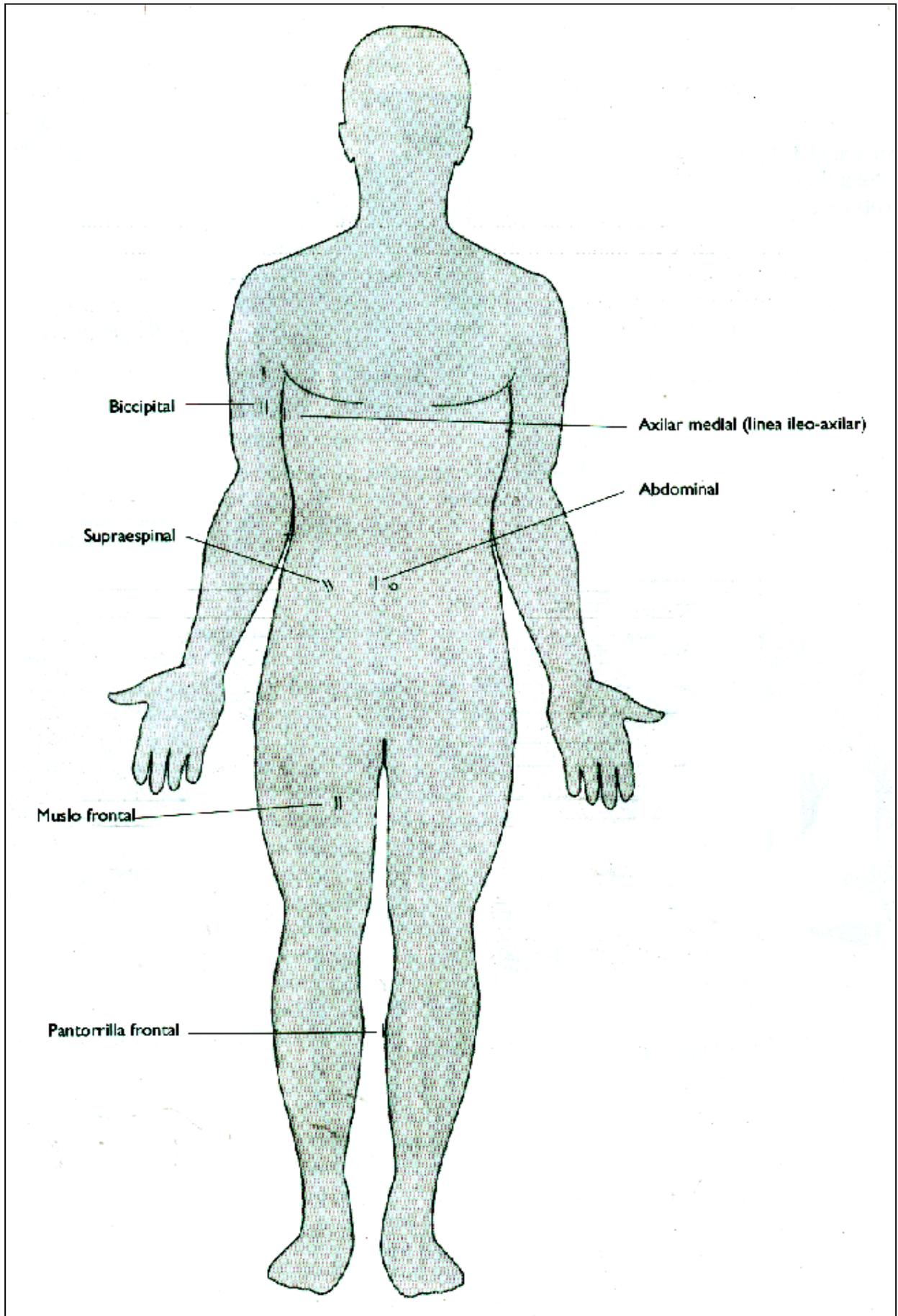


FIGURA 14 b. Medición del pliegue subescapular.



*FIGURA 15. Ubicación de los sitios para la medición de los pliegues cutáneos (vista anterior)*

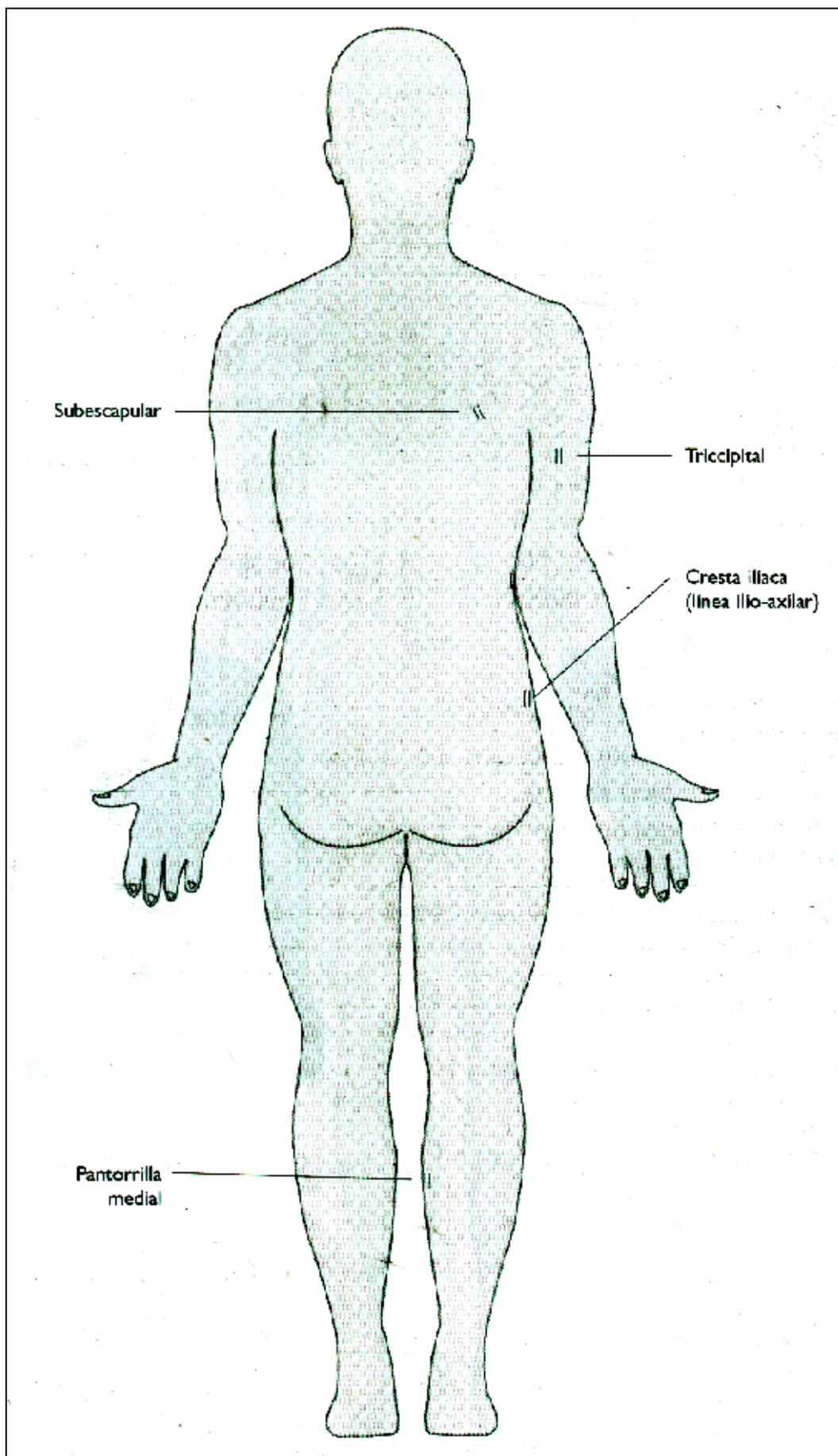


FIGURA 16. Ubicación de los sitios para la medición de los pliegues cutáneos (vista posterior)

### 3. Bicipital ®

Este pliegue se toma con el pulgar e índice izquierdos en la Marca sobre la línea acromial-radial media, de forma tal que el pliegue corra verticalmente, es decir, paralelo al eje longitudinal del brazo. El sujeto se para con el brazo relajado, la articulación del hombro con una leve rotación externa y el codo extendido. El pliegue se ubica en la parte más anterior del brazo derecho. Controlar que el punto marcado para el pliegue bicipital esté en la superficie más anterior de este músculo, mirando el brazo desde el costado, mientras se mantiene la posición anatómica. El sitio marcado debería poder verse del costado, indicando que es el punto más anterior del bíceps (al nivel de la línea acromial-radial media).

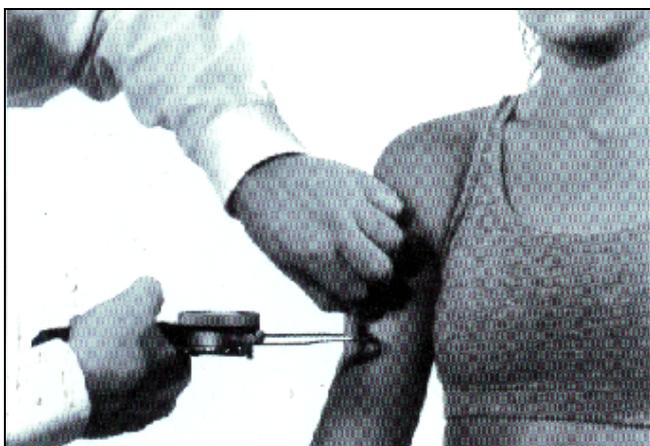


FIGURA 17. Medición del pliegue bicipital

### 4. Cresta ilíaca ®

Este pliegue se toma inmediatamente por encima de la marca Iliocrestídea, a la altura de la línea ílio-axilar. El sujeto realiza una abducción o separación del brazo derecho hacia el plano horizontal, o cruza el brazo por delante del pecho y coloca la mano derecha sobre el hombro izquierdo. Alinear los dedos de la mano izquierda sobre el punto o marca iliocrestídea, y presionar hacia adentro, de manera que los dedos se desplacen por sobre la cresta ilíaca. Reemplazar estos dedos por el pulgar izquierdo y reubicar el dedo índice a una distancia suficiente por encima del pulgar, de modo que esta toma constituirá el pliegue a ser medido. El pliegue corre levemente hacia abajo, hacia la parte medial del cuerpo. [Nota: este pliegue es el equivalente al descrito por Durnin & Womersley (1974), como pliegue suprailíaco].

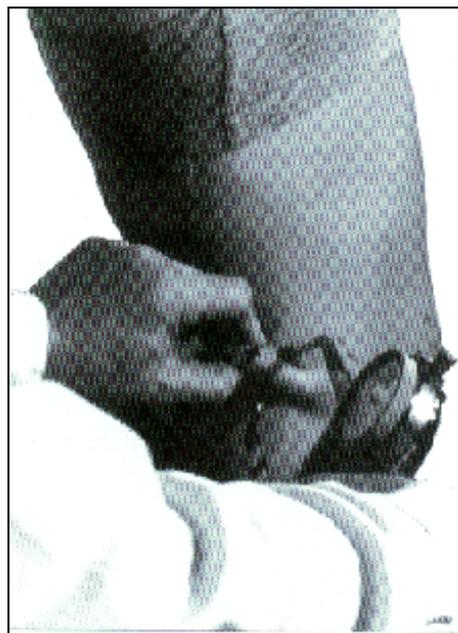


FIGURA 18. Medición del pliegue de la cresta ilíaca

### 5. Supraespinal ®

Este pliegue fue denominado originalmente por Heath y Carter (1967) como suprailíaco, pero ahora es conocido como supraespinal (Carter & Heath, 1990). Es el pliegue utilizado cuando se determina el somatotipo de Heath y Carter (ver Capítulo 6). Este pliegue es levantado por compresión en donde la línea imaginaria que va desde la marca ilioespinal al borde axilar anterior se intersecta con la línea que se proyecta, en sentido horizontal, desde el borde superior del hueso ilíaco, a nivel de la marca o punto iliocrestídeo. En los adultos, está normalmente 5-7 cm por encima del punto o marca ilioespinal, dependiendo del tamaño del sujeto, pero podría estar a sólo 2 cm en un niño. El pliegue sigue una tendencia de dirección medial, hacia abajo y hacia adentro, en un ángulo de aproximadamente 45 grados.

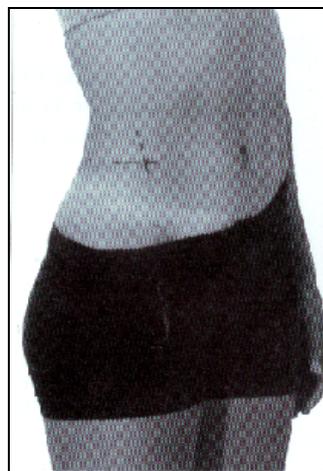


FIGURA 19 a. Ubicación del pliegue supraespinal.

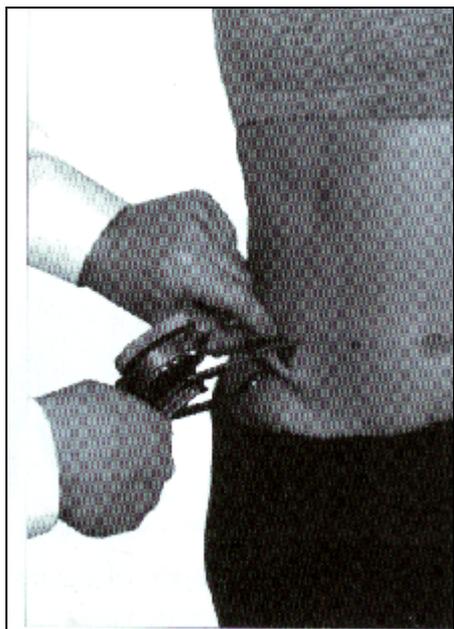


FIGURA 19 b. Medición del pliegue supraespinal.

## 6. Abdominal ®

Este es un pliegue, en sentido vertical, que se eleva a 5 cm (aproximadamente) en la línea media de la sobresalencia del recto abdominal, del lado derecho del ombligo (punto medio del ombligo). En este sitio es particularmente importante que el evaluador esté seguro de que la toma inicial del pliegue sea firme y amplia, ya que a menudo la musculatura subyacente está poco desarrollada. Esto podría provocar una subestimación en el grosor de la capa subcutánea del tejido. [Nota: no colocar los calibres dentro del ombligo].

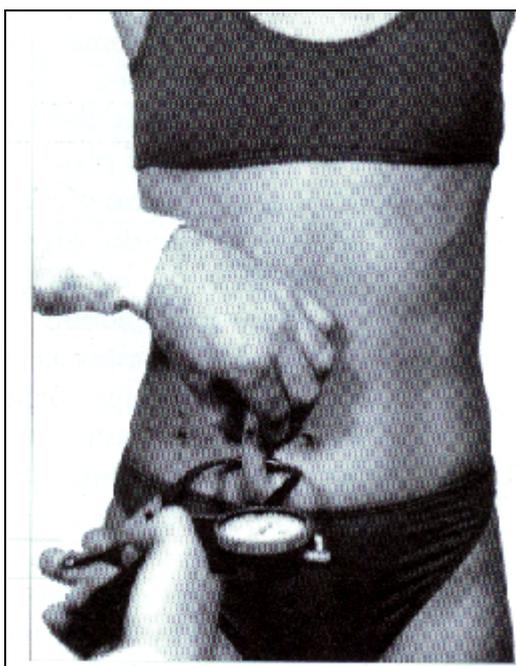


FIGURA 20. Medición del pliegue abdominal

## 7. Muslo frontal ®

El evaluador se para frente al costado derecho del sujeto, en el lado lateral del muslo. La rodilla del sujeto abdominal se flexiona en ángulo recto, colocando el pie derecho sobre un cajón o sentándose. El sitio es marcado paralelo al eje longitudinal del fémur, en el punto medio de la distancia entre el pliegue inguinal y el borde superior de la rótula (con la pierna flexionada). La medición puede llevarse a cabo con la rodilla flexionada o con la pierna derecha apoyada en una caja. Por ejemplo, si el pliegue es difícil de separar, se le podría pedir al sujeto que extienda la rodilla levemente moviendo el pie hacia adelante para liberar la tensión de la piel. Si aún existe dificultad, el sujeto podría ayudar levantando con sus manos el muslo desde la parte posterior (ver Figura 21 c), para liberar la tensión de la piel. Como último recurso, en aquellos sujetos con pliegues particularmente adheridos, el ayudante (parado entre las piernas del evaluado) puede ayudar tomando el pliegue con las dos manos, de modo que haya aproximadamente 6 cm entre los dedos de la mano derecha, que toma el pliegue en la posición anatómica correcta, y la mano izquierda que toma un pliegue distal. El calibre es colocado entre las manos del ayudante, a 1 cm del pulgar y del dedo índice de la mano derecha del ayudante.

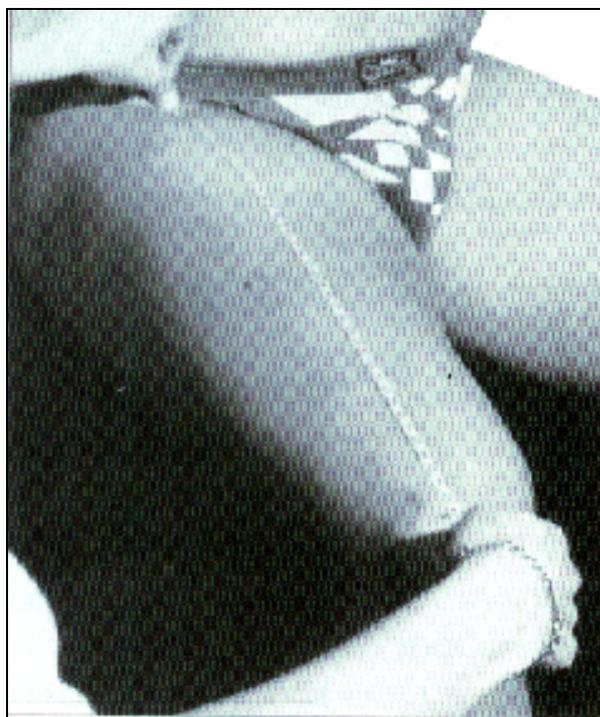


FIGURA 21 a. Ubicación de la marca para medir el pliegue del muslo frontal.

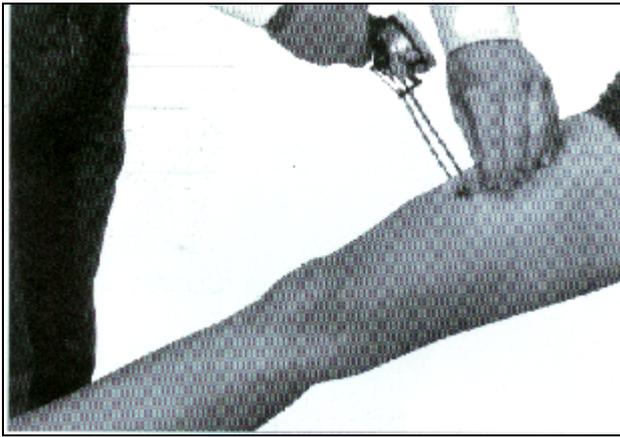


FIGURA 21 b. Medición del muslo frontal sin ayuda del sujeto



FIGURA 21 c. Medición del muslo frontal, con ayuda del sujeto.

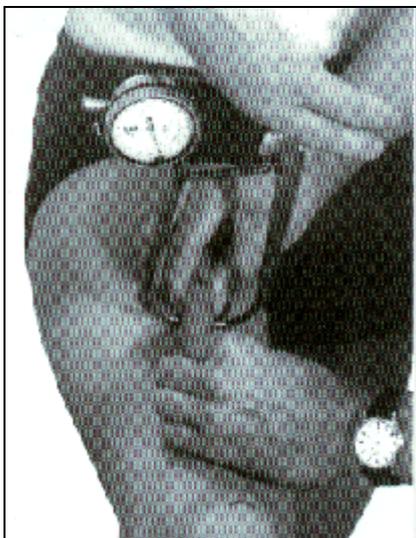


FIGURA 21 d. Medición del muslo frontal, con ayuda del asistente.

## 8. Pantorrilla medial <sup>®</sup>

Con el sujeto ya sea sentado o con el pie apoyado en una caja (rodilla a 90 grados), y con la pantorrilla relajada, se toma el pliegue vertical en la cara medial de la pantorrilla, a nivel de su perímetro máximo. El mismo será determinado durante la medición de los perímetros, y este nivel debe marcarse en la cara

medial de la pantorrilla durante este procedimiento. Ver desde adelante el sitio marcado para asegurarse que se ha identificado correctamente el punto más medial.

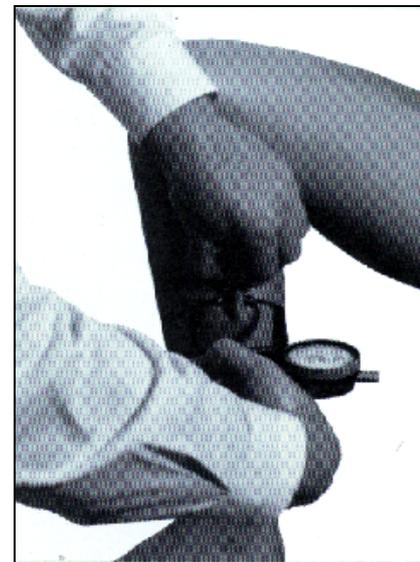


FIGURA 22. Medición del pliegue cutáneo de la pantorrilla medial

## 9. Axilar medial

Es un pliegue vertical en la línea ílio-axilar, a nivel del punto xifoideo marcado en el esternón. Por lo general, se le pide al sujeto que levante el brazo derecho, separado del cuerpo en posición de 90 grados (con la mano del sujeto apoyando en su cabeza). Elevar el brazo más que de esta forma podría causar que la piel sea difícil de comprimir.

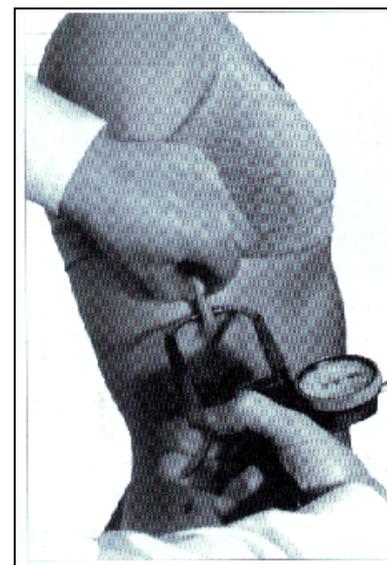


FIGURA 23. Medición del pliegue axilar medial

## 5.5 Perímetros

### 5.5.1 Técnicas para medir los perímetros

Para la medición de todos los perímetros se utiliza la llamada técnica de manos cruzadas, y la lectura se realiza de la cinta en donde, para una mejor visión, el cero es ubicado más en sentido lateral que medial, en el sujeto. Para medir los perímetros la cinta se sostiene en ángulo recto a la extremidad o segmento corporal que está siendo medido, y la tensión de la cinta debe ser constante. Esta tensión constante se logra asegurando que no haya huecos entre la piel y la cinta, y que la misma mantenga su lugar en la marca o referencia especificada. Si bien se pueden conseguir diferentes cintas con tensión constante, es preferible la cinta Lufkin ya que permite que el antropometrista controle la tensión. Para ubicar la cinta, sostener la caja de la cinta con la mano derecha y el extremo de la misma con la izquierda. Colocándose en frente del segmento corporal a medir, pasar el extremo de la cinta alrededor del mismo y tomar la punta de la cinta con la mano derecha, la cual, a partir de aquí, sostiene tanto el extremo como la caja. En este momento, la mano izquierda está libre para manipular la cinta en el nivel correcto. Aplicar suficiente tensión a la cinta con la mano derecha para mantenerla en esa posición, mientras la mano izquierda pasa por debajo de la caja para tomar nuevamente el extremo. Ahora la cinta contornea el segmento a ser medido. Los dedos medios de ambas manos están libres para ubicar exactamente la cinta en la marca y orientarla de manera que el cero sea fácilmente leído. La yuxtaposición de la cinta asegura que haya una contiguidad de las dos partes de la misma, a partir de lo cual se determina el perímetro. Cuando se registra la lectura, los ojos del evaluador deben estar al mismo nivel de la cinta para evitar cualquier error de paralelismo entre cinta y extremidad o segmento.

### 5.5.2 Marcas anatómicas para los perímetros - ver Figura 31

#### 10. Cabeza

El perímetro de la cabeza se obtiene con la cabeza en el plano de Frankfort, en un nivel inmediatamente superior a la glabella (punto medio entre los dos arcos de la cejas), con el sujeto sentado o parado. La cinta tiene que sujetarse fuerte para presionar el cabello. A menudo, es necesario utilizar los dedos medios en el costado de la cabeza para evitar que la cinta se deslice sobre la misma. Excluir las orejas y asegurarse de que no haya hebillas, clips, u objetos similares en el cabello durante la medición.

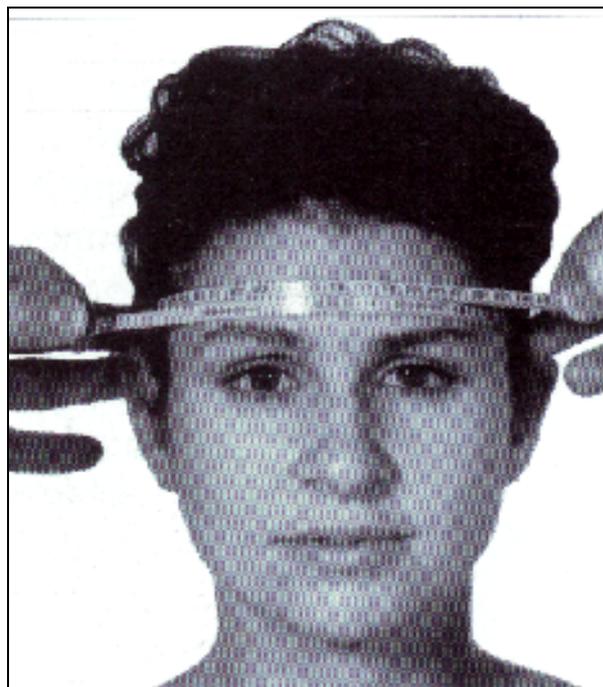


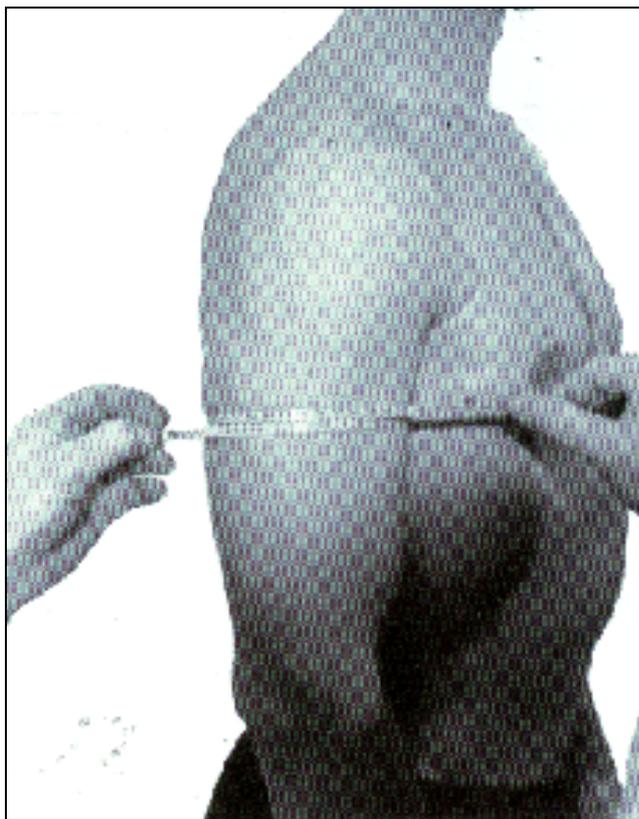
FIGURA 24. Medición del perímetro de cabeza

#### 11. Cuello

El perímetro del cuello se mide inmediatamente por encima del cartílago tiroideo (nuez de Adán). El sujeto debería mantener la cabeza en el plano de Frankfort, y puede estar sentado o parado. Es importante no tensionar demasiado la cinta en esta región ya que los tejidos son compresibles. La cinta se sostiene perpendicular al eje longitudinal del cuello, el cual puede no necesariamente estar en el plano horizontal.



FIGURA 25. Medición del perímetro del cuello



**FIGURA 26.** Medición del perímetro de brazo relajado

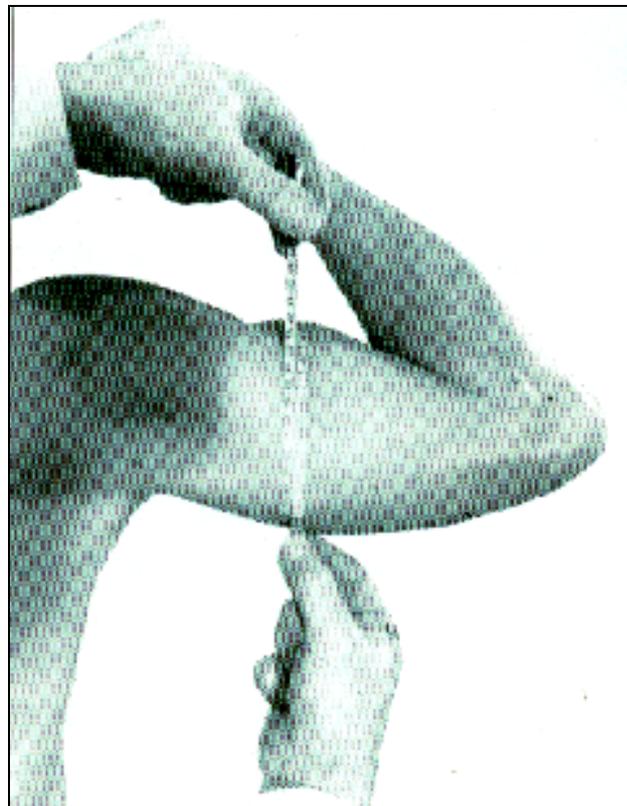
#### 12. Brazo relajado

El perímetro del brazo, segmento superior del miembro superior (colocado en posición relajada al costado del cuerpo), se inicie al nivel de la línea media acromial-radial. La cinta debe colocarse perpendicular al eje longitudinal del húmero.

#### 13. Brazo flexionado en máxima tensión ®

Es la circunferencia máxima de la parte superior del brazo derecho, elevado a una posición horizontal y hacia el costado, con el antebrazo flexionado en un ángulo de aproximadamente 45 grados. El evaluador se pasa detrás del sujeto, y sosteniendo la cinta floja en la posición, le pide al sujeto que flexione parcialmente el bíceps para determinar el punto en que el perímetro será máximo. Aflojar la tensión del

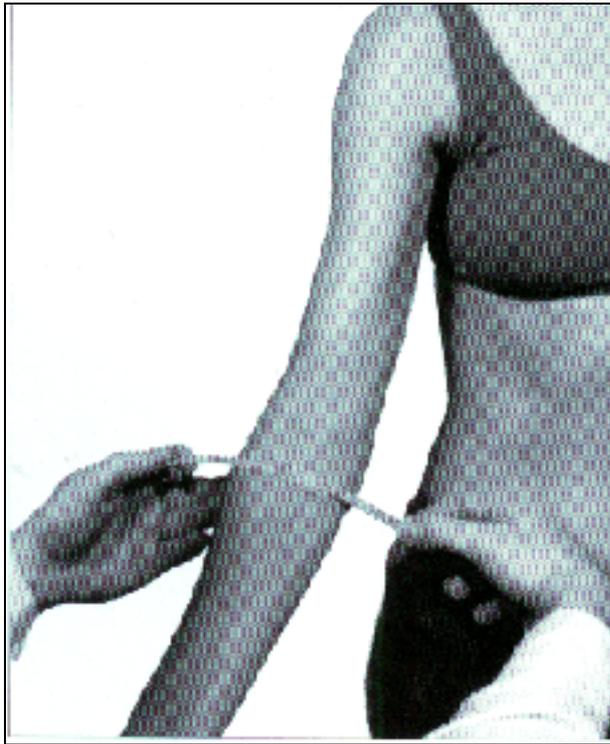
extremo de cinta en la caja, luego pedirle al sujeto que apriete el puño, que lleve la mano hacia el hombro de manera que el codo forme un ángulo cercano a 45 grados, y que “haga bíceps” al máximo, y mantenga la máxima contracción. En ese momento proceder a la lectura.



**FIGURA 27.** Medición el perímetro de brazo flexionado en máxima tensión

#### 14. Antebrazo

La medición se realiza a la altura del máximo perímetro del antebrazo cuando la mano es sostenida con la palma hacia arriba y los músculos del brazo relajados (con el brazo y antebrazo extendidos). Utilizando la técnica de manos cruzadas es necesario deslizar la cinta hacia arriba y hacia abajo del antebrazo, realizando varias mediciones para ubicar correctamente el nivel del máximo perímetro. Esto ocurre usualmente en un punto distal al codo.

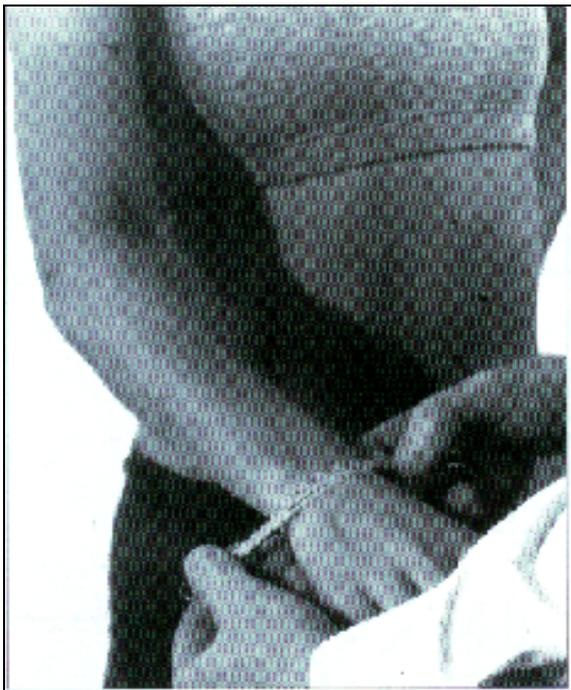


**FIGURA 28.** Medición del perímetro del antebrazo

#### 15. Muñeca

La medición de este perímetro se toma distalmente a los procesos estiloides. Es el perímetro mínimo en esta región. Por lo tanto, es necesaria la manipulación de la cinta para asegurar la obtención del menor perímetro. El perímetro debería ser tomado con la mano en supinación y la muñeca en posición neutral.

Nota del Editor: En la foto, la mano está en pronación.



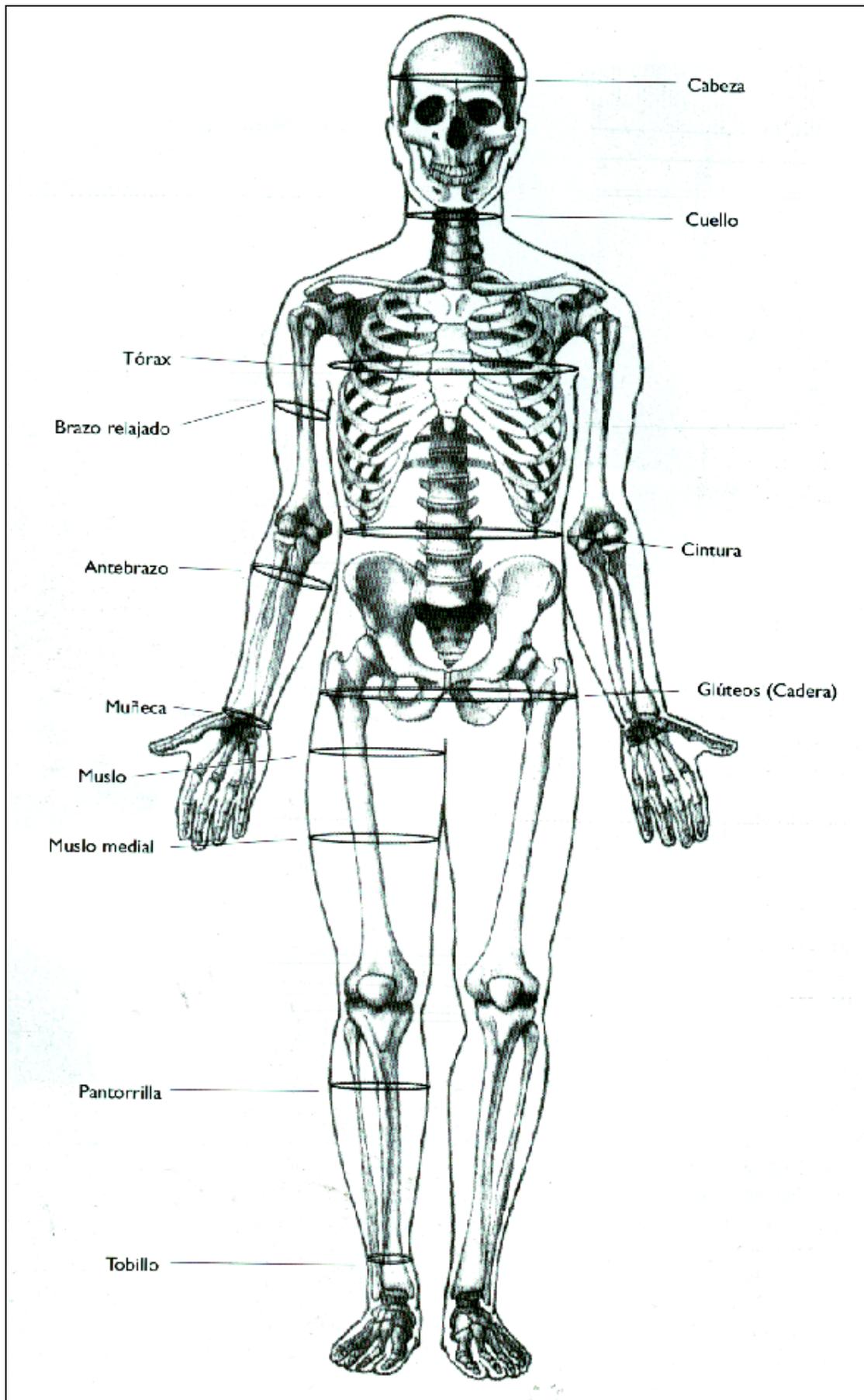
**FIGURA 29.** Medición del perímetro de la muñeca

#### 16. Tórax

Este perímetro se toma al nivel de la marca mesoesternal. El antropometrista se para de frente, o ligeramente a la derecha del sujeto, el cual realiza una leve Abducción o separación de los brazos para poder pasar la cinta por detrás del tórax, en un plano casi horizontal. El sujeto debería respirar normalmente y la lectura se realiza al final de una espiración normal (“end tidal”), con los brazos que deben permanecer ligeramente en abducción durante la medición. Es necesario tener cuidado para que la cinta no se desvíe del plano horizontal, particularmente en la espalda.



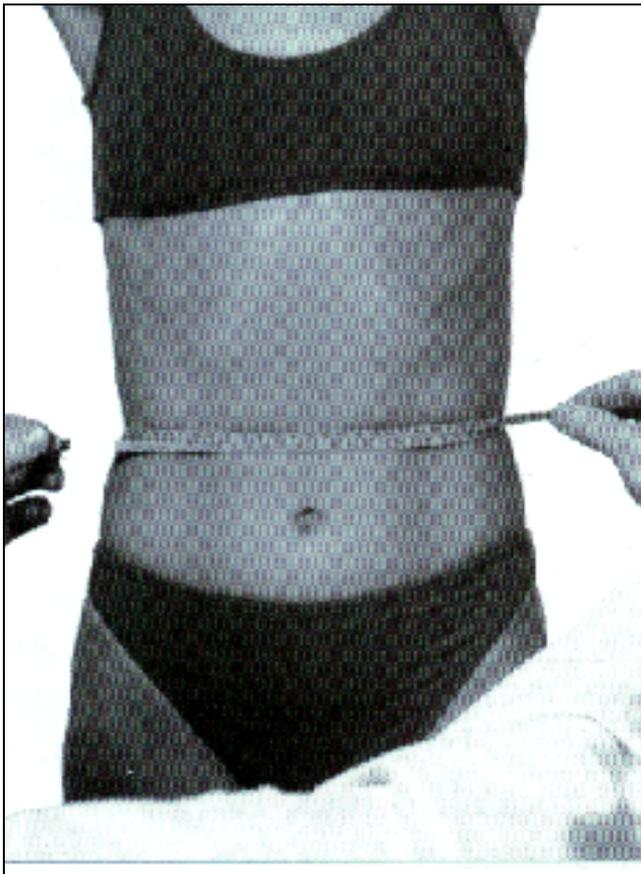
**FIGURA 30.** Medición del perímetro del tórax



*FIGURA 31. Marcas o referencias anatómicas para los perímetros*

## 17. Cintura ®

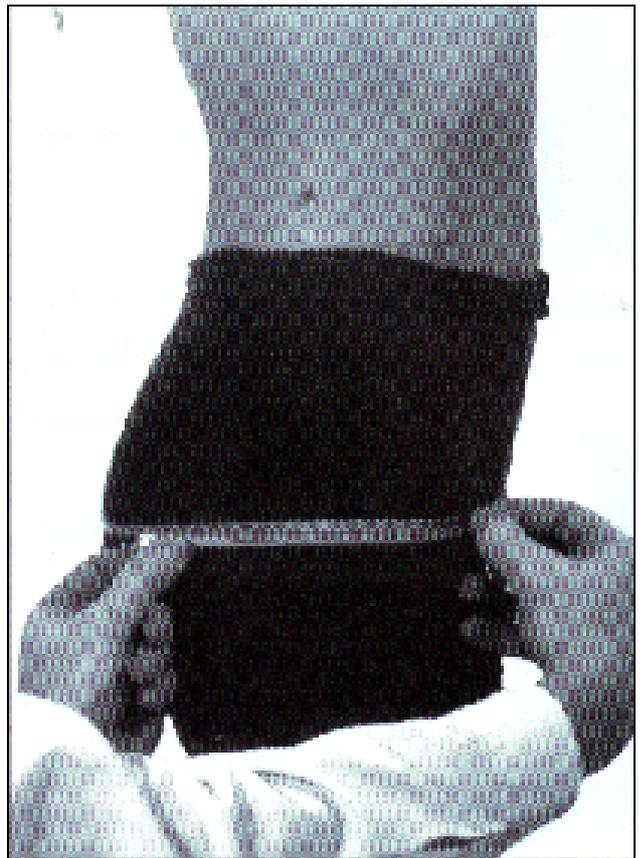
Esta medición se realiza en el nivel del punto más estrecho entre el último arco costal (costilla) y la cresta iliaca. Si la zona más estrecha no es aparente, entonces la lectura se realiza en el punto medio entre estas dos marcas. El evaluador se para en frente del sujeto para localizar correctamente la zona más estrecha o reducida. La medición se realiza al final de una espiración normal, con los brazos relajados a los costados del cuerpo.



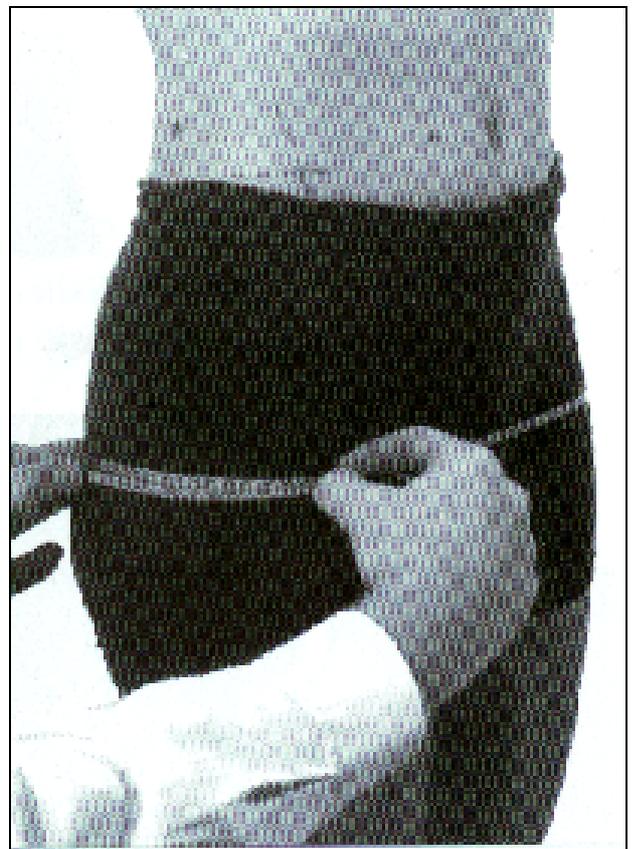
*FIGURA 32. Medición del perímetro de cintura*

## 18. Glúteos (cadera) ®

Este perímetro es tomado al nivel del máximo relieve de los músculos glúteos, casi siempre coincidente con el nivel de la sínfisis pubiana. El evaluador se para al costado del sujeto para asegurar que la cinta se mantenga en el plano horizontal. El sujeto se para con los pies juntos y no debería contraer los glúteos.



*FIGURA 33a. Medición del perímetro de glúteos o cadera (vista lateral)*



*FIGURA 33b. Medición del perímetro de glúteos o cadera (vista anterior)*

## 19. Muslo

El perímetro del muslo se toma 1 cm por debajo del pliegue glúteo, perpendicular al eje longitudinal del muslo. El sujeto se para erecto, con los pies ligeramente separados, y el peso corporal distribuido equilibradamente entre ambos pies. Normalmente, es útil pedirle al sujeto que se pare en un cajón o banquito para esta medición. Pasar la cinta alrededor de la porción inferior del muslo y luego deslizarla hacia arriba hasta lograr el plano correcto.



**FIGURA 34a.** Medición del perímetro del muslo (vista posterior)



**FIGURA 34b.** Medición del perímetro del muslo (vista lateral)

## 20. Muslo medial

Es la medición del perímetro del muslo derecho tomada perpendicular al eje longitudinal del muslo. Se toma en el nivel medio entre las marcas trocántera tibial lateral. Normalmente, ayuda pedirle a los sujetos que se paren en un cajón o banquito. Deberían asumir la misma posición que en la descrita para el perímetro del muslo (anteriormente).



**FIGURA 35.** Medición del perímetro del muslo medial

## 21. Pantorrilla®

Es el máximo perímetro de la pantorrilla. El sujeto se para de espaldas al evaluador en una posición elevada, por ejemplo, en un cajón o banquito, con el peso equitativamente distribuido en ambos pies. La posición elevada facilitará al evaluador alinear los ojos con la cinta. La medición se realiza en la cara lateral de la pierna.

Contornear la cinta alrededor de la pantorrilla, en la forma descrita previamente. El máximo perímetro se encuentra usando los dedos medios para manipular la posición de la cinta en una serie de mediciones hacia arriba y abajo, hasta identificar la circunferencia máxima. Marcar este nivel en la cara medial de la pantorrilla en preparación para la medición del pliegue.



FIGURA 36. Medición del perímetro de la pantorrilla

## 22. Tobillo

Debe obtenerse el menor perímetro del tobillo, tomado en el punto más estrecho, por encima de los maléolos tibial y peróneo. La cinta debe ser movida hacia arriba y abajo para asegurar la lectura del mínimo perímetro.

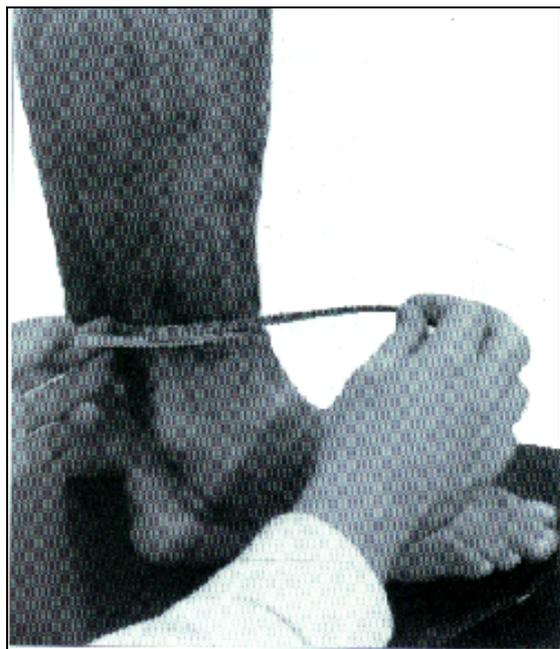


FIGURA 37. Medición del perímetro del tobillo

## 5.6. Longitudes/alturas segmentarias

### 5.6.1. Técnicas para medir las longitudes/alturas segmentarias

Existen dos métodos para medir las longitudes de los segmentos corporales. Uno comprende la medición de la distancia vertical desde el piso hasta la serie de puntos o marcas anatómicas señaladas mediante el uso de un antropómetro. En este caso, el sujeto asume la posición de parado erecto con los pies juntos, como se describió previamente. Este es el método de medir longitudes segmentarias proyectadas, y se ilustra en la Figura 42. Luego de estas mediciones, es posible (por sustracción) determinar las longitudes de segmentos individuales; por ejemplo, la altura acromial menos la altura radial, nos dará la longitud del brazo (acromial-radial). El segundo método, presentado en la Figura 43, permite las mediciones directas de estos segmentos. En este caso, el instrumento a ser utilizado será un calibre deslizante grande o un segmómetro. Las investigaciones previas (Day, 1986) demostraron que hay más posibilidad de error cuando se utiliza el método de longitudes proyectadas. Por lo tanto, es recomendable que las longitudes segmentarias sean medidas directamente. Los calibres deslizantes grandes y rígidos son preferibles a las cintas, ya que las mismas tienden a sobrestimar las longitudes debido a que es difícil mantenerlas derechas o en línea recta (Day, 1986). Los siguientes lineamientos están basados en el uso de estos calibres deslizantes aunque, con algunos cambios mínimos, un segmómetro podría sustituirlos. Antes de realizar cualquier medición, controlar cada punta o extremo del calibre o segmómetro para asegurarse de que no ha habido movimiento, y por, ello se haya salido de la marca. Es preferible que el extremo del calibre en donde se van a leer los registros esté ubicado lo más cerca posible del nivel de los ojos del evaluador.

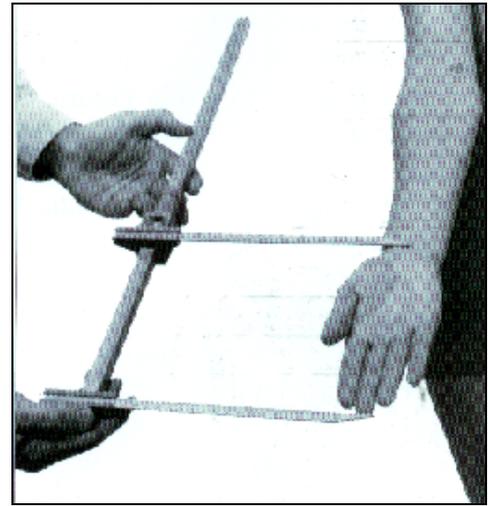
### 5.6.2. Marcas anatómicas para las longitudes/alturas-ver Figuras 42 y 43

## 23. Acromial-radial

Es la longitud del brazo, medida entre la distancia de estos dos puntos anatómicos, previamente marcados. El sujeto se para erecto con las palmas de la mano levemente separadas del muslo. Una de las ramas del calibre es sostenida en la marca acromial mientras que la otra es colocada en la marca radial. Si los sujetos tienen músculos deltoides muy desarrollados se debe utilizar un antropómetro para evitar la curvatura de la cinta del segmómetro.



**FIGURA 38.** Medición de la longitud segmentaria acromial-radial



**FIGURA 40.** Medición de la longitud segmentaria medioestiloideadactiloidea

#### 24. Radial-estiloidea

Es la longitud del antebrazo. Es la distancia entre los puntos radial y estiloideo, previamente marcados, mientras el sujeto adopta la posición anatómica. Una de las ramas del calibre se apoya en la marca radial y la otra en la estiloidea. El calibre se ubica paralelo al eje longitudinal del radio.



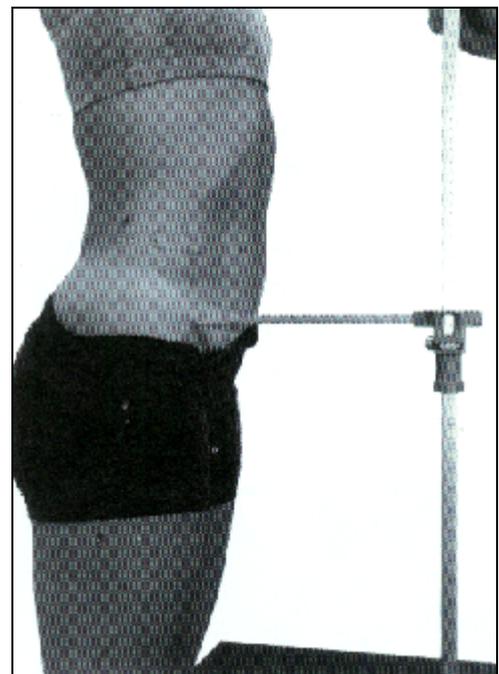
**FIGURA 39.** Medición de la longitud segmentaria radial-estiloidea

#### 25. Medioestiloidea-dactiloidea

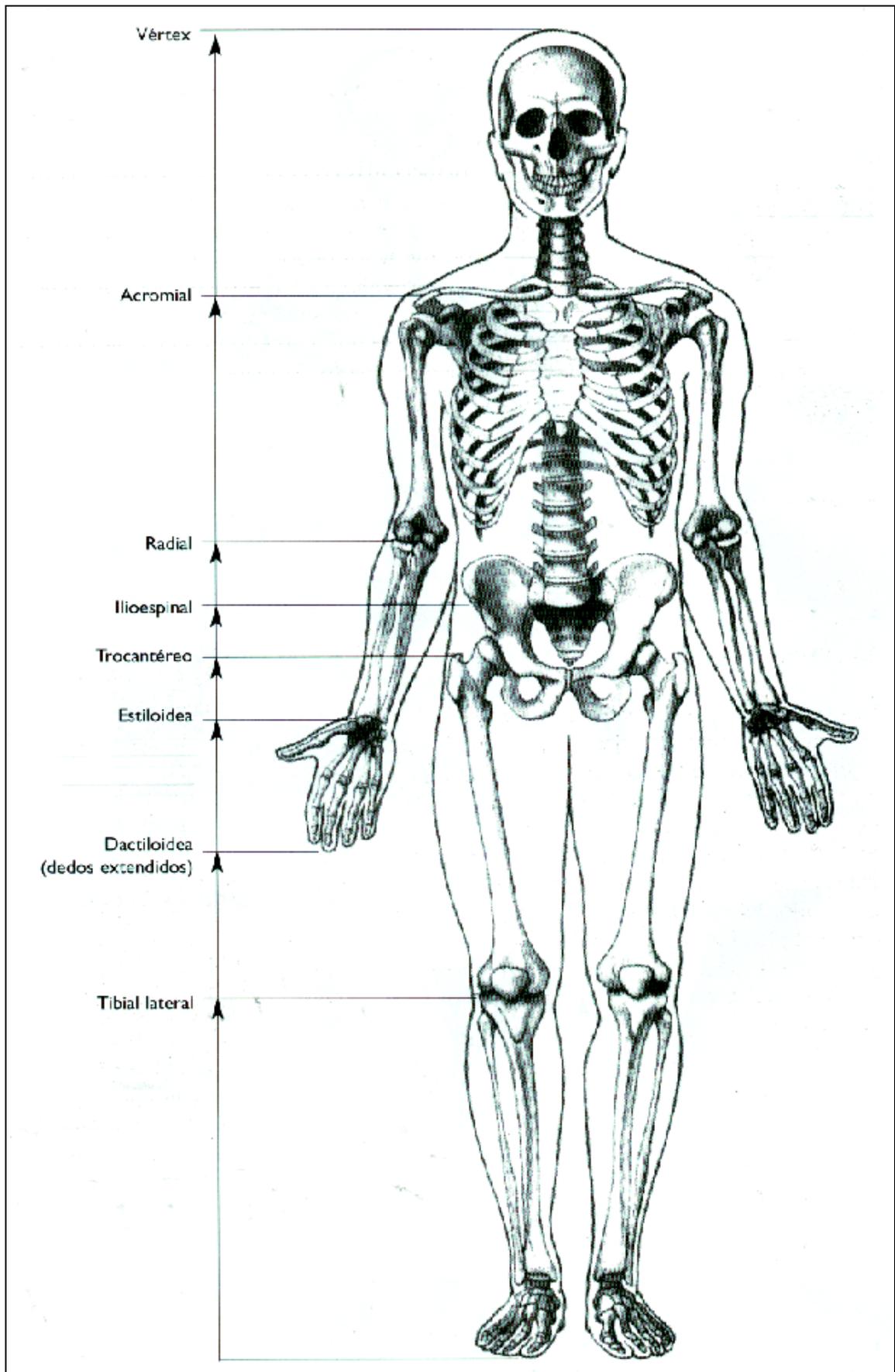
Es la longitud de la mano. La medición se toma como la distancia más corta desde la línea medio-estiloidea marcada y el punto o marca dactiloidea. El sujeto coloca la mano en posición de supinación (palmas hacia adelante) y los dedos en extensión total (no hiperextendidos). Un extremo del calibre es colocado en la línea medio-estiloidea marcada, mientras que el otro extremo se ubica en el punto más distal del tercer dígito, o dedo medio de la mano.

#### 26. Ilioespinal

Se mide la altura desde la parte superior de la caja hasta el punto ilioespinal. El sujeto se para con los pies juntos, frente a la caja, de forma que los dedos del pie se ubiquen por debajo de la caja, a través de la parte cortada de la misma. La base o rama fija del calibre es colocada en la cara superior de la caja, y orientado verticalmente hacia arriba, el brazo móvil del calibre es ubicado en la marca ilioespinal. [Nota: la altura de interés es la altura desde el piso hasta la marca ilioespinal. Esto se obtiene agregando la altura de la caja a la altura registrada en la proforma de datos, como la longitud caja-marca ilioespinal].



**FIGURA 41.** Medición de la altura ilioespinal-caja



*FIGURA 42. Medidores de las alturas, utilizadas para determinar las longitudes segmentarias proyectadas*

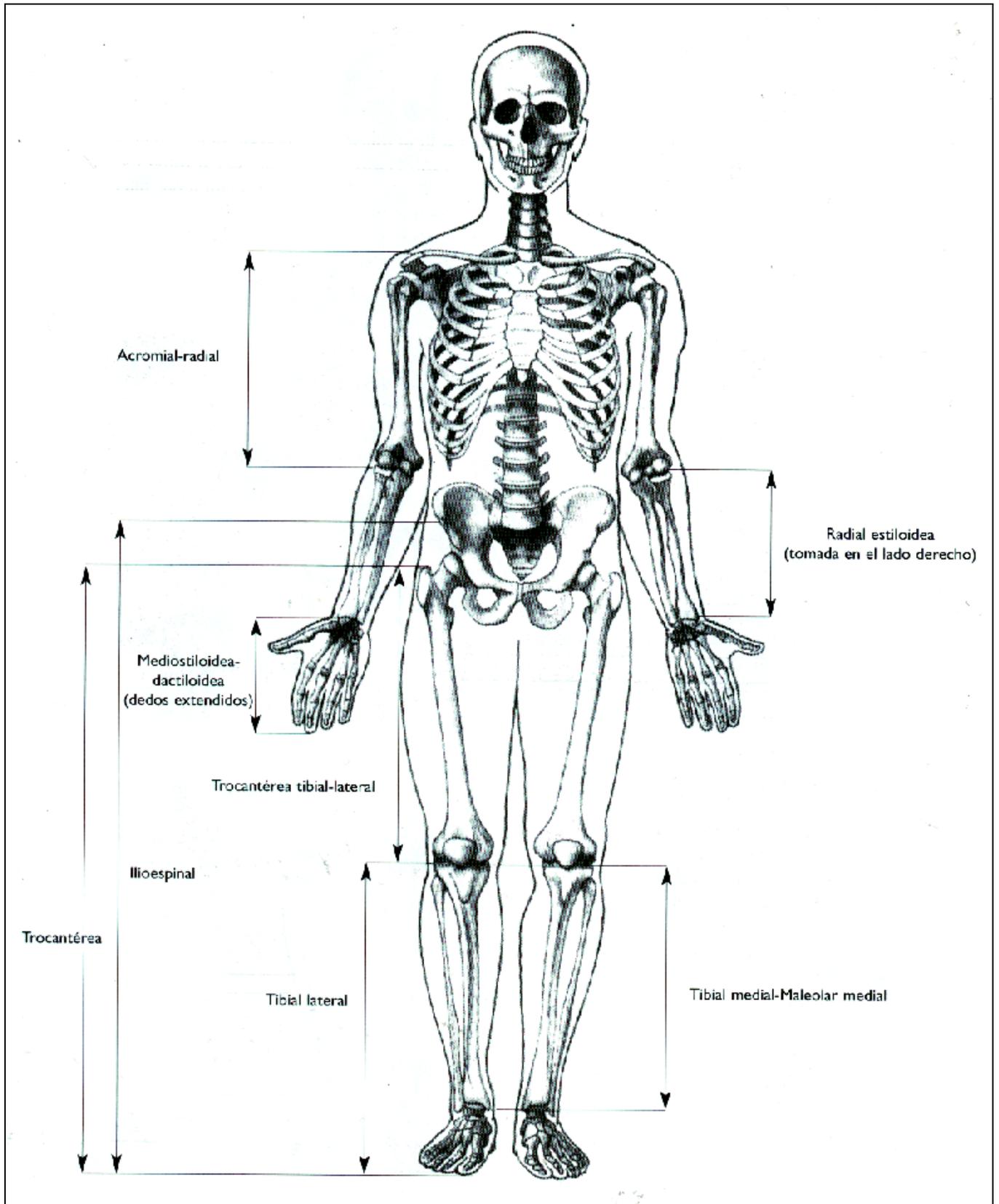


FIGURA 43. Longitudes segmentarias medidas directamente

## 27. Trocánterea

Es la altura desde el borde superior de la caja hasta la marca trocánterea. El sujeto se para con los pies juntos, y la cara lateral de su pierna derecha contra la

caja. La base o rama fija del calibre es colocada en el borde superior de la caja y el mismo es orientado verticalmente hacia arriba, ubicando el extremo del brazo móvil en la marca trocánterea. [Nota: la altura de interés es la altura desde el piso hasta el punto

trocantéreo. Esto se obtiene sumando la altura de la caja a la altura registrada en la proforma como la longitud trocantérea-caja].

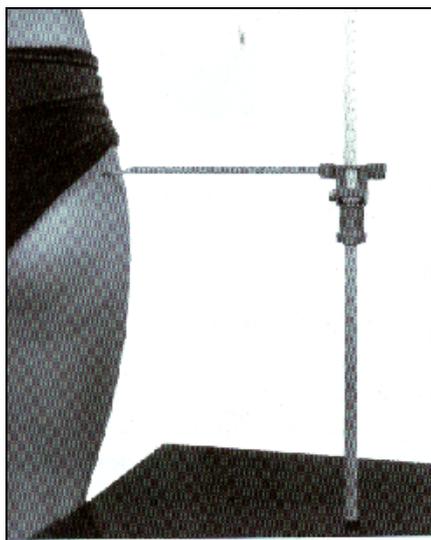


FIGURA 44. Medición de la altura trocantérea – caja

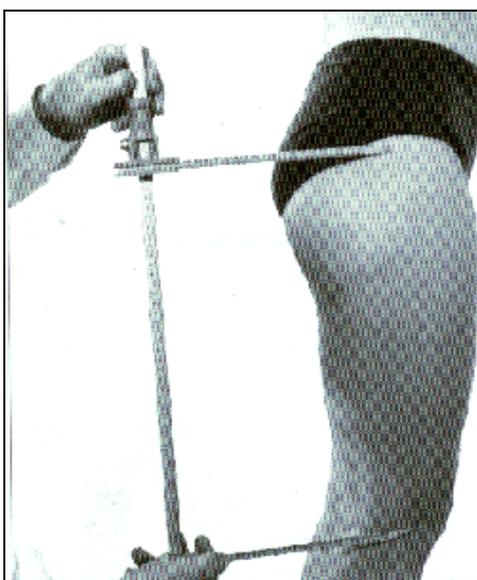


FIGURA 45. Medición de la longitud segmentaria trocantérea – tibial lateral

## 28. Trocantérea-tibial lateral

Esta es la longitud del muslo. La distancia desde la marca trocantérea hasta la marca tibial lateral se mide mientras el sujeto se para sobre la caja, con su costado derecho enfrentando al antropometrista. Uno de los extremos del calibre es colocado en la marca trocantérea y el otro en la marca tibial lateral.

## 29. Tibial lateral

Es la longitud de la pierna, es decir, la distancia entre el piso (o borde de la caja cuando el sujeto se para sobre la misma) y la marca tibial lateral. Normalmente

se hace parar al sujeto sobre la caja, mientras la base o rama fija del calibre se coloca en el borde de la misma, y el brazo móvil en la marca tibial lateral. El calibre debe sostenerse en el plano vertical. Luego se mide la altura desde la marca tibial lateral hasta el borde superior de la caja.

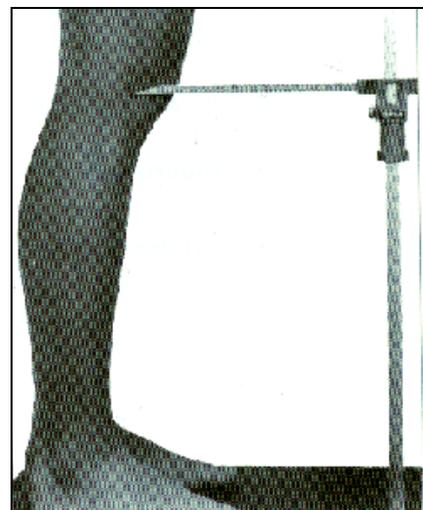


FIGURA 46. Medición de la altura tibial lateral

## 30. Tibial medial-maleolar medial

Es la longitud de la tibia. Es la longitud medida entre los puntos o marcas tibial medial y maleolar medial. El sujeto podría sentarse en la caja con el tobillo derecho cruzado sobre la rodilla izquierda. Esta posición debería presentar la cara medial de la pierna en un plano cercano al horizontal. Uno de los extremos del calibre se coloca en la marca tibial medial y el otro en la marca maleolar medial.

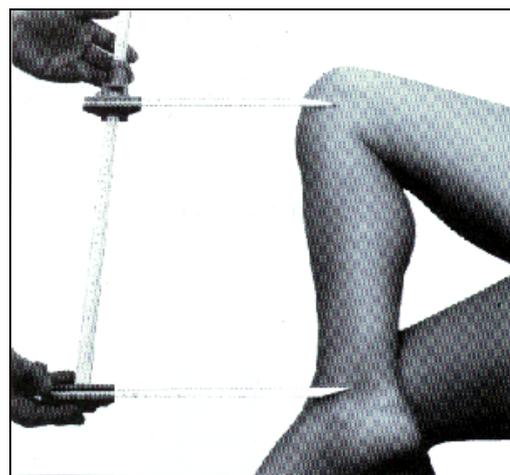


FIGURA 47. Medición de la longitud segmentaria tibial medial-maleolar medial

## 5.7 Diámetros

### 5.7.1 Técnicas para medir los diámetros (y longitudes)

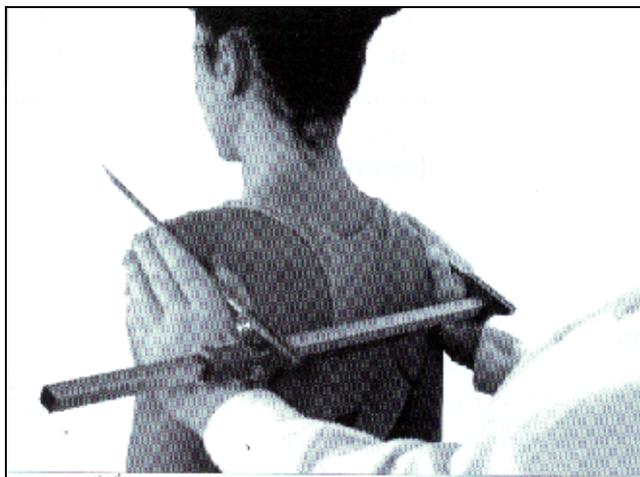
Tanto los calibres deslizantes (óseos) pequeños, como los calibres deslizantes grandes, se sostienen de la misma manera. El calibre descansa sobre los dorsos de las manos mientras que los pulgares se apoyan sobre la cara interna de las ramas del calibre, y los dedos índices extendidos descansan sobre los bordes externos de las ramas. En esta posición, los dedos pueden ejercer una presión considerable para reducir el grosor de algún tejido blando subyacente, y los dedos medios están libres para palpar las marcas óseas sobre las cuales serán colocados los extremos de las ramas del calibre.

Las lecturas se realizan cuando los calibres están en la posición, con la presión mantenida a través de los dedos índices.

### 5.7.2 -Marcas anatómicas para los diámetros (y longitudes) – ver Figura 53

#### 31. **Biacromial**

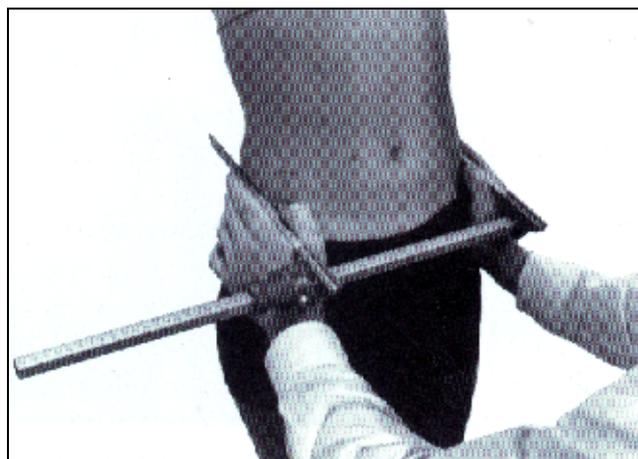
Es la distancia entre los puntos más laterales de los procesos acromiales. Este sitio es medido con las ramas de los calibres deslizantes grandes, colocadas en los puntos más laterales de los procesos acromiales. Normalmente, esto no coincide con las marcas acromiales previamente marcadas, que por lo general son levemente superiores, (no mediales, y anteriores) a estos puntos laterales. Con el sujeto en posición de parado, con los brazos colgando a los costados del cuerpo, y el evaluador parado detrás del sujeto, se colocan las ramas del antropómetro en los procesos acromiales, en un ángulo aproximado de 45 grados, en plano inclinado de abajo hacia arriba. Se debe aplicar presión firme para comprimir los tejidos sobresalientes.



**FIGURA 48.** Medición del diámetro biacromial

#### 32. **Biliocrestídeo**

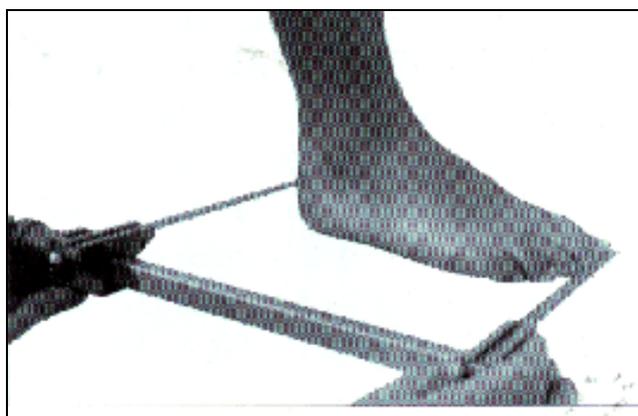
Es la distancia entre los puntos más laterales (iliocrestídeo) de los tubérculos ilíacos, en borde superior de la cresta ilíaca. Las ramas del antropómetro se orientan en un ángulo de 45 grados, de abajo hacia arriba, con el evaluador parado de frente al sujeto. El antropometrista debe aplicar una presión firme para reducir el efecto de los tejidos superficiales sobresalientes.



**FIGURA 49.** Medición del diámetro biliocrestídeo

#### 33. **Longitud del pie**

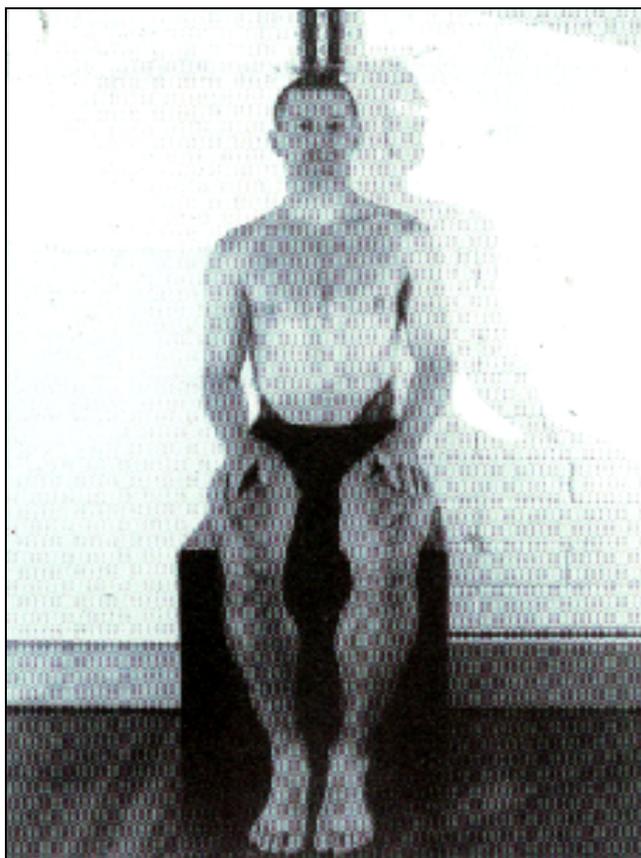
Es la distancia entre el dedo más sobresaliente del pie (que podría ser la primera o la segunda falange) y el punto más posterior del talón del pie, mientras el sujeto se para con el peso repartido equitativamente entre ambos pies. El calibre se debe mantener paralelo al eje longitudinal del pie, y se debe aplicar una presión mínima. Es más conveniente para el evaluador si el sujeto se para sobre la caja, durante esta medición.



**FIGURA 50.** Medición de la longitud del pie

### 34. Altura sentado

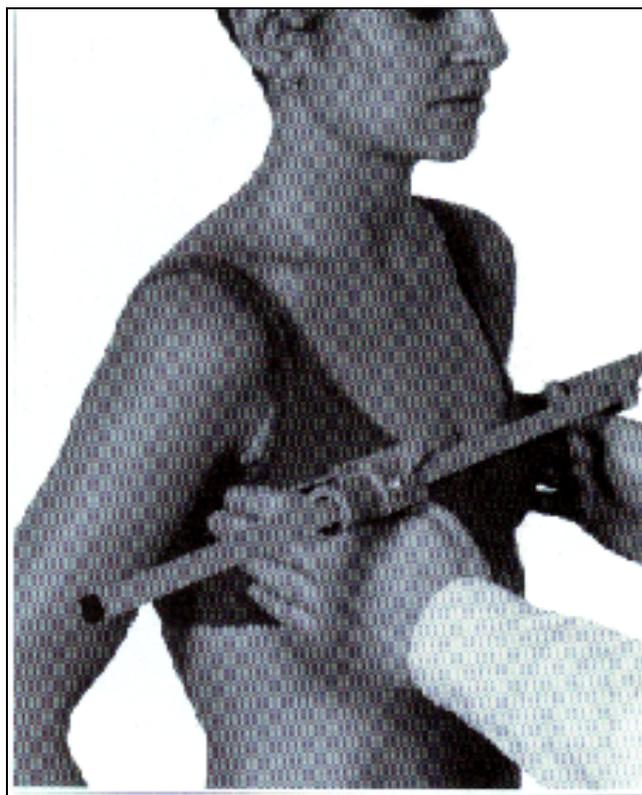
Es la altura desde la mesa o caja (donde el sujeto se sienta) hasta el vértex, con la cabeza en el plano de Frankfort. El evaluador coloca las manos en las mandíbulas del sujeto, con los dedos alcanzando los procesos mastoideos. Se le pide al sujeto que haga una inspiración profunda y que mantenga la respiración y, manteniendo la cabeza en el plano de Frankfort el evaluador aplica una suave presión hacia arriba a través de los procesos mastoideos. [Nota: la altura sentado debería tomarse con la misma técnica que la utilizada para la estatura de parado].



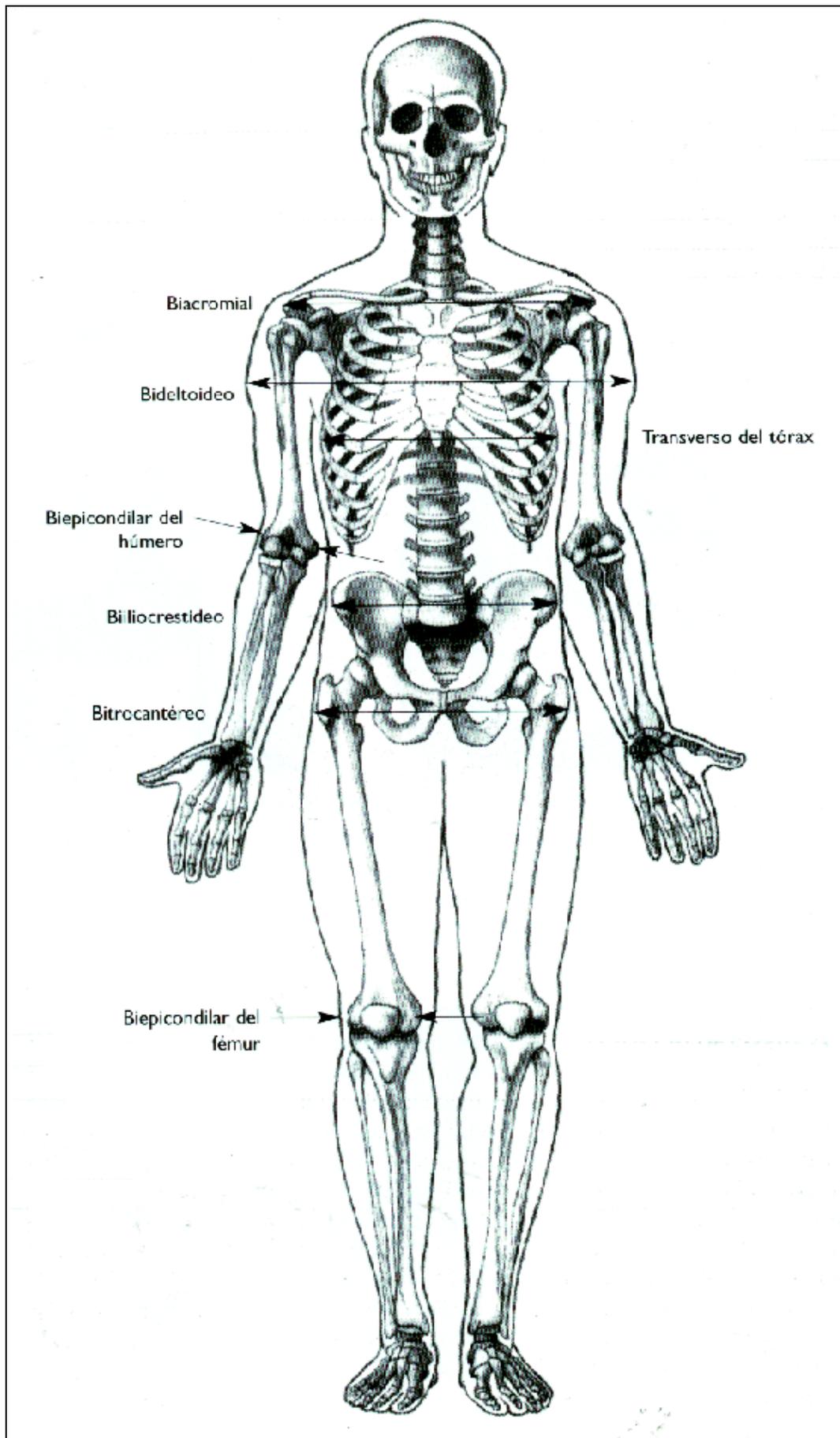
*FIGURA 51. Medición de la altura sentado*

### 35. Transverso del tórax

Se mide la distancia entre las caras más laterales del tórax, mientras la cara superior de la escala del calibre es colocada a nivel del punto o marca mesoesternal (en el frente), y las ramas son orientadas de arriba hacia abajo en un ángulo de 30 grados con respecto al plano horizontal. Esto evitará que el calibre se deslice entre las costillas. El evaluador se para frente al sujeto quien puede estar, ya sea sentado o parado. Se debe tener cuidado para evitar la inclusión de los músculos pectorales y dorsales anchos. La lectura se realiza al final de una espiración normal (“end tidal”).



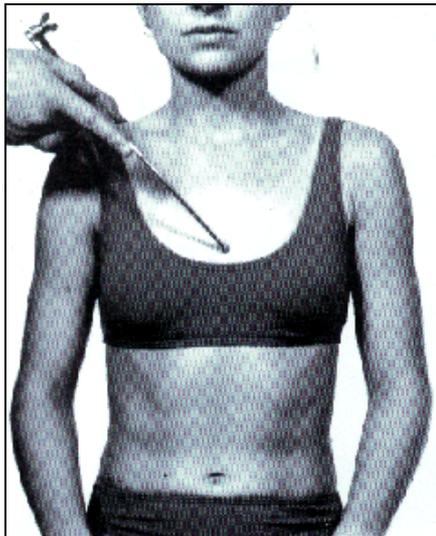
*FIGURA 52. Medición del diámetro transverso de tórax*



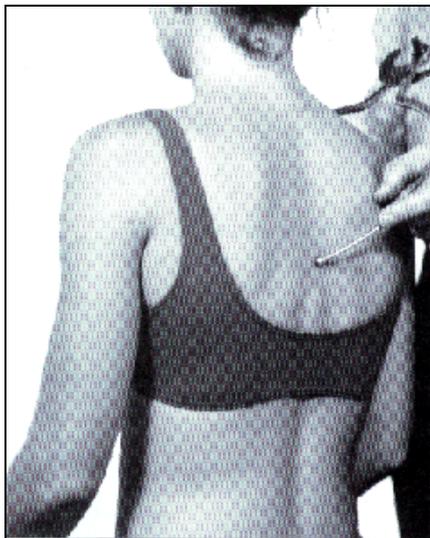
**FIGURA 53.** Localización de las mediciones de los diámetros

### 36. Profundidad o diámetro ántero-posterior de tórax

Es la distancia medida entre los dos brazos del calibre de ramas curvas, cuando se ubican al nivel del punto o marca mesoesternal. El evaluador calibre por encima del hombro derecho del sujeto quien está sentado en posición erecta, y al que se le pide que respire normalmente. La rama posterior del calibre debería apoyarse sobre las apófisis espinosas de las vértebras, al nivel o altura de la marca mesoesternal. La lectura se realiza al final de una espiración normal (“end tidal”).



*FIGURA 54a. Medición de la profundidad o diámetro ántero-posterior de tórax (vista anterior)*

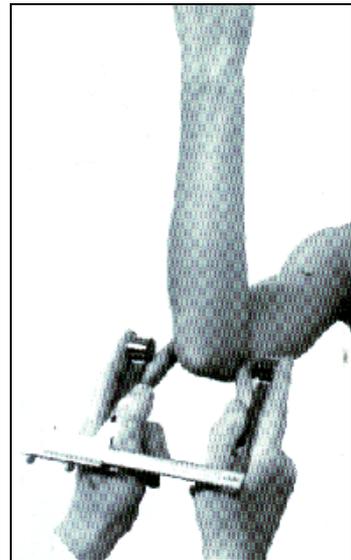


*FIGURA 54b. Medición de la profundidad o diámetro ántero-posterior de tórax (vista posterior)*

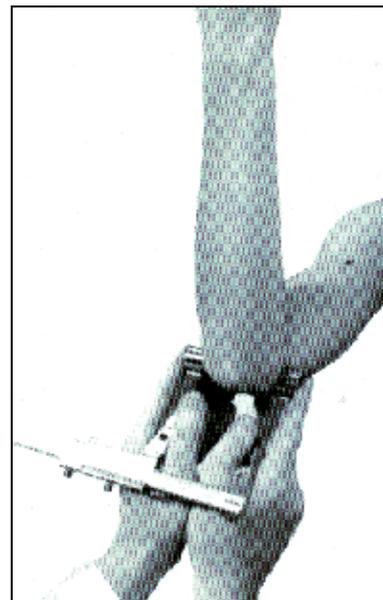
### 37. Biepicondilar del húmero ®

Es la distancia medida entre los epicóndilos medial y lateral del húmero, cuando el brazo es levantado anteriormente hacia el plano horizontal y el antebrazo

es flexionado en ángulo recto con el brazo. Con el calibre de ramas deslizantes pequeño tomado correctamente, utilizar los dedos medios para palpar los epicóndilos del húmero, comenzando en forma proximal a los sitios. Los puntos óseos que primero se tocan son los epicóndilos. El calibre es colocado directamente sobre los epicóndilos, de modo que las ramas del mismo se orienten de abajo hacia arriba en un ángulo aproximado de 45 grados, con respecto al plano horizontal. Mantener presión firme con los dedos índices cuando se lee el valor. Debido a que el epicóndilo medial está en un plano ligeramente inferior al epicóndilo lateral, la distancia medida podría ser algo oblicua.



*FIGURA 55 a. Ubicando los epicóndilos del húmero por palpación*



*FIGURA 55 b. Medición del diámetro biepicondilar del húmero*

### 38. Biepicondilar del fémur®

Es la distancia medida entre los epicóndilos medial y lateral del fémur, cuando el sujeto está sentado y la pierna flexionada en la rodilla, formando un ángulo recto con el muslo. Con el sujeto sentado y los calibres colocados en el lugar, utilizar los dedos medios para palpar los epicóndilos, comenzando en Forma proximal a los sitios. Los puntos óseos que primero se tocan son los epicóndilos. Colocar los platillos del calibre sobre los epicóndilos, de modo que las ramas del mismo se orienten de arriba hacia abajo en un ángulo de 45 grados, con respecto al plano horizontal. Mantener presión firme con los dedos índices hasta que se haya leído el valor.

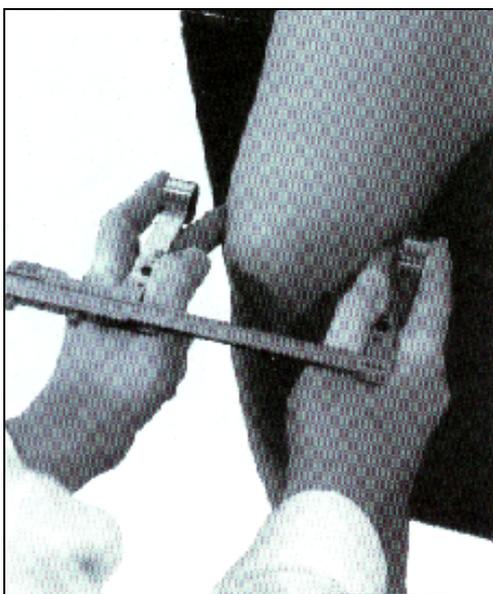


FIGURA 56 a. Ubicando los epicóndilos femorales por palpación

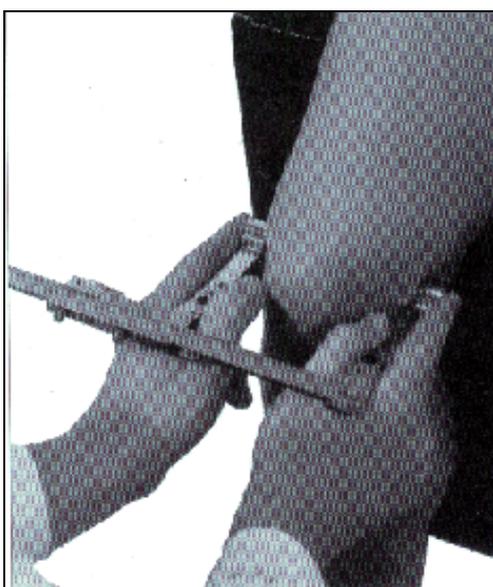


FIGURA 56 b. Medición del diámetro biepicondilar del fémur

### 5.7.3 Sitios deportivos específicos

Los siguientes sitios han sido incluidos como una guía para aquellos antropometristas que pudiesen necesitar estas mediciones para grupos específicos de deportistas. Por ejemplo, la envergadura de brazos ha sido una medición de rutina en nadadores y jugadores de voleibol en las instituciones deportivas. Los diámetros bideltoideo y bitrocantéreo son predictores útiles para calcular la superficie frontal proyectada, en deportes como el ciclismo, el pedestismo o carrera, y el patín carrera.

#### Envergadura de brazos

Es la distancia entre los extremos de los dedos medios de las manos izquierda y derecha, cuando el sujeto está parado contra una pared. Para evitar posibles errores debido a un tórax grande, el sujeto se para con su espalda contra la pared. Los brazos estirados deben estar en posición horizontal. A menudo, es útil utilizar un rincón de la habitación como uno de los extremos de medición, porque de esta forma sólo se necesitará hacer una sola marca en la pared o tabla. Para medir la envergadura se utiliza una cinta antropométrica.

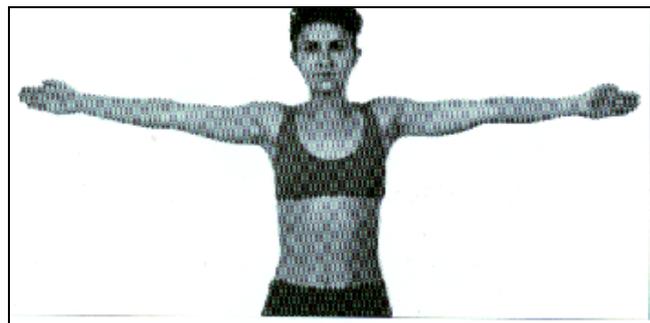


FIGURA 57. Medición de la envergadura máxima

#### Diámetro bideltoideo

Es la distancia entre las caras más laterales de los músculos Deltoides, y se mide utilizando el calibre deslizante grande. El sujeto se para Relajado, con los brazos colgando a ambos costados, y las palmas descansando contra los muslos. Se debe aplicar una presión mínima (no se deberían dejar marcas en la piel). Las ramas del antropómetro deberían formar un ángulo orientado levemente hacia arriba.

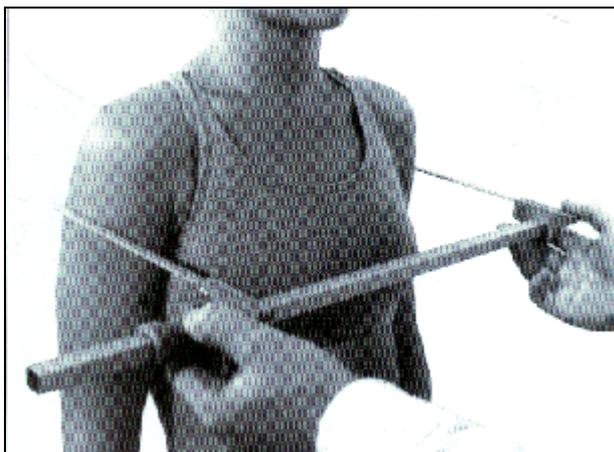


FIGURA 58. Medición del diámetro bideltoideo

### Diámetro bitrocantéreo

Es la distancia entre las caras más laterales de los trocánteres mayores. No está al mismo nivel que las marcas trocántéreas previamente marearlas. El antropometrista debería pararse de frente al sujeto, y las ramas riel antropómetro estar orientadas levemente hacia arriba.

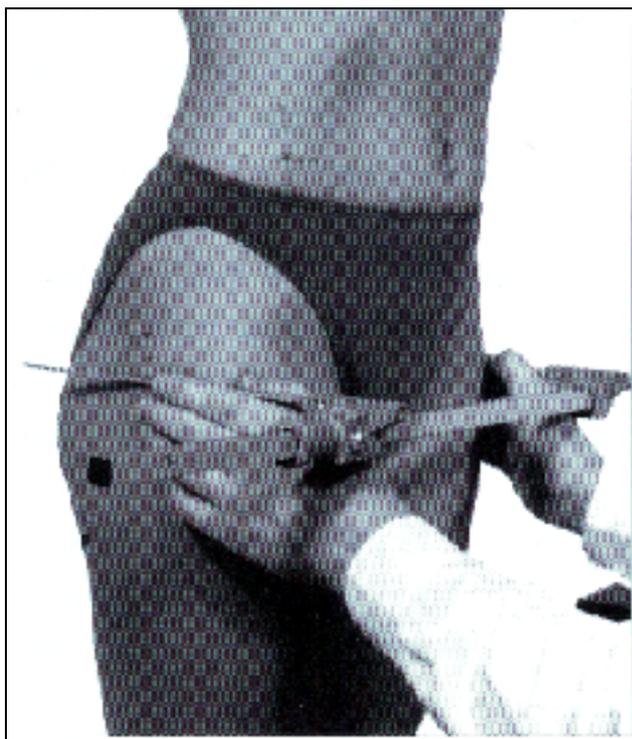


FIGURA 59. Medición del diámetro bitrocantéreo

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Anderson, N.R., & Ross, W.D. (1986).

Reliability and objectivity in skinfold caliper and ultrasound measurements of skin and adipose tissue thickness at six sites.

In T. Reilly, J. Watkins, & J. Borms (Eds.), **Kinanthropometry III** (pp. 15-20). Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Carr, R., Balde, L., Rempel, R., & Ross, W.D. (1993). Technical note: on the measurement of direct vs. projected anthropometric lengths. **American Journal of Physical Anthropology**, **90**, 515-517.

Carter, J.E.L. (1980). **The Heath-Carter somatotype method**. San Diego: San Diego State University Syllabus Service.

Carter, J.E.L., & Heath, B. (1990). **Somatotyping — development and applications**. Cambridge: Cambridge University Press.

Consolazio, C.F., Johnson, R.E., & Pecora, L.J. (1963). **Physiological measurements of metabolic function in man** (p. 303). London: McGraw-Hill.

Day, J.A.P. (1986). Bilateral symmetry and reliability of upper limb measurements. In J.A.P. Day (Ed.), **Perspectives in kinanthropometry** (pp. 257-261). Champaign, Illinois: Human Kinetics.

Drinkwater, D.T., & Ross, W.D. (1980). The anthropometric fractionation of body mass. In G. Ostyn, G. Beunen, & J. Simons (Eds.), **Kinanthropometry II** (pp. 178-189). Baltimore: University Park Press.

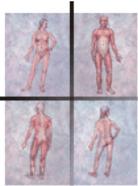
Durnin, J.V.G.A., & Womersley, J. (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years. **British Journal of Nutrition**, **32**, 77-97.

Gwinup, G., Chelvam, R., & Steinberg, T. (1971). Thickness of subcutaneous fat and activity of underlying muscles. **Annals of Internal Medicine**, **74**, 408-411.

Heath, B.H., & Carter, J.E.L. (1967). A modified somatotype method. **American Journal of Physical Anthropology**, **27**, 57-74.

- Jackson, A.S., Pollock, M.L., & Gettman, L.R. (>1978).  
Intertester reliability of selected skinfold and circumference measurements and percent fat estimates.  
**Research Quarterly**, **49**, 546-551.
- Jokl, E. (1976).  
Record physiology.  
In E. Jokl, & R.L. Anand (Eds.),  
**Advances in Exercise Physiology, Medicine and Sport 9** (pp. 3-22).  
Basel: Karger.
- Kerr, D. (1992).  
**An anthropometric method of fractionation of skin, adipose, bone, muscle and residual tissue masses in males and females aged 6 to 77 years.**  
Unpublished Master's thesis, Simon Fraser University, Burnaby, BC, Canada.
- Kramer, H.J., & Ulmer, H.V. (1981).  
Two second standardization of the Harpenden caliper.  
**European journal of Applied Physiology**, **46**, 103-104.
- Lohman, T.G., & Pollock, M.L. (1981).  
Which caliper — How much training?  
**Journal of Physical Education and Recreation**, **52**, 27-29.
- Martin, A.D., Ross, W.D., Drinkwater, D.T., & Clarys, J.P. (1985).  
Prediction of body fat by skinfold caliper: assumptions and cadaver evidence.  
**International journal of Obesity**, **9**, 31-39.
- Martorell, R., Mendoza, F., Mueller, W.H., & Pawson, I.G. (1988).  
Which side to measure: right or left?  
In T.G. Lohman, A.F. Roche, & R. Martorell (Eds.),  
**Anthropometric standardization reference manual** (pp. 87-91).  
Champaign Illinois: Human Kinetics.
- Montoye, H.J., Smith, E.L., Fardon, D.F., & Howley, E. (1980).  
Bone mineral in senior tennis players.  
**Scandinavian Journal of Sports Science**, **2**, 26-32.
- Reilly, T., Tyrrell, A., & Lroup, T.D.G. (1984).  
Circadian variation in human stature.  
**Chronobiol.Int.**, **1**, 121-126.
- Ross, W.D., & Marfell-Jones, M.T. (1991).  
Kinanthropometry. In J.D. MacDougall, H.A. Wenger, & H.J. Green (Eds.),  
**Physiological testing of the high-performance athlete** (2nd ed.) (pp. 223-308).  
Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Ruiz, L., Colley, J.R.T., & Hamilton, P.J.S. (1971).  
Measurement of triceps skinfold thickness. An investigation of sources of variation.  
**British journal of Preventive and Social Medicine**, **25**, 165-167.
- Schmidt, P.K., & Carter, J.E.L. (1990).  
Static and dynamic differences among five types of skinfold calipers.  
**Human Biology**, **62**, 369-388.
- Surnner, E.E., & Whitacre, J. (1931).  
Some factors affecting accuracy in the collection of data on the growth of weight in school children.  
**Journal of Nutrition**, **4**, 15-33.
- Wilby, J., Linge, K., Reilly, I., & Troup, J.D.G. (1985).  
Circadian variation in effects of circuit weight training.  
**British Journal of Sports Medicine**, **19**, 236.
- Womersley, J., & Durnin, J.V.G.A. (1973).  
An experimental study on variability of measurements of skinfold thickness on young adults.  
**Human Biology**, **45**, 281-292.

## CAPÍTULO 3



# ERROR EN LA MEDICIÓN ANTROPOMÉTRICA

David Pederson y Christopher Gore

## 1. INTRODUCCION

Si un antropometrista mide los pliegues cutáneos de un sujeto en forma reiterarla, por ejemplo en varios días consecutivos, los valores por lo general serán diferentes. Si bien una pequeña parte de la variabilidad podría estar dada por cambios biológicos en el sujeto, la mayor parte se debe probablemente a inconsistencias en la técnica del antropometrista. Por ejemplo, cuando se miden los pliegues, la ubicación de los sitios en el cuerpo podría variar ligeramente de una evaluación a otra, o el equipo que se utiliza podría estar calibrado, cada vez, a distinto nivel. Está claro que para el antropometrista es una ventaja minimizar la variabilidad técnica en las mediciones. En la literatura sobre errores de medición predominan cuatro temas: **precisión, confiabilidad, exactitud y validez.**

La variabilidad observada en mediciones repetidas llevadas a cabo en el mismo sujeto determina el nivel de **precisión.** Las variables de precisión normalmente tienen las mismas unidades que las unidades de la variable en consideración. Una elevada precisión se corresponde con una baja variabilidad en evaluaciones sucesivas, y es el objetivo de un antropometrista competente, ya que entonces habrá una alta probabilidad de que una sola evaluación esté cerca de su valor real, el valor de interés para el evaluador.

El antropometrista no tiene un solo valor para su precisión, sino que tiene un valor separado para cada combinación de una variable y de un procedimiento de medición. Para la mayoría de las variables antropométricas existen estándares de precisión aceptables, los cuales permiten al evaluador controlar su propia performance. En el Capítulo 13 se discute acerca de los niveles deseables (y razonablemente alcanzables) de precisión.

La precisión es el indicador más básico de la pericia de un antropometrista. Sin embargo, si los niveles de precisión están indicados en el informe técnico, entonces los lectores necesitarán saber tanto las

unidades como los estándares aceptables para poder evaluar la precisión de cada variable. Una alternativa es indicar los niveles de **confiabilidad,** los cuales son, por lo general, coeficientes de correlación y, por lo tanto, no tienen unidades. La variable de confiabilidad que presentaremos en este capítulo es el **coeficiente de correlación intraclase (CCI),** para el cual existe un rango desde 0 (confiabilidad cero) hasta 1 (confiabilidad perfecta).

Por lo tanto, las variables de precisión y confiabilidad difieren en sus unidades y en las restricciones sobre sus posibles valores. Existen otras dos diferencias. En primer lugar, la precisión es una característica de un evaluador en particular, al utilizar una técnica particular de medición en una variable en particular. La confiabilidad tiene las mismas características, más la característica adicional de depender en la variabilidad de los sujetos. Por lo general, la medición de la confiabilidad para una variable en particular será más cercana a 1 en un grupo de sujetos que son muy diferentes entre sí que en un grupo de sujetos que son relativamente semejantes. En segundo lugar, las mediciones de la precisión podrían ser utilizadas en cálculos posteriores de, por ejemplo, intervalos de confianza, o en el tamaño de la muestra necesario para satisfacer ciertos criterios. Los valores de confiabilidad, por el contrario, son simplemente indicadores de técnica y no son útiles para cálculos posteriores. Es importante que la evaluación obtenida por un antropometrista en un sujeto en particular sea cercana al valor real. El grado al cual el valor medido se corresponde con el valor real es la **exactitud** de la medición. Pero, ¿cuál es el “valor real”? No existe ningún instrumento que mida los pliegues cutáneos, por ejemplo, con absoluta exactitud. Cuando se debe determinar la exactitud de alguna evaluación, normalmente se la compara con el valor obtenido por algún antropometrista altamente entrenado y experimentado (por ejemplo, un antropometrista de Nivel 3 o Nivel 4). Los valores obtenidos por dicho profesional (llamado evaluador “de criterio”) se asumen como los valores reales.

El cuarto aspecto del error de medición es la **validez**, la cual es el grado por el cual una evaluación mide realmente una característica. Por ejemplo, la variable en estudio podría ser la característica general de “capacidad física” de los sujetos. Se podría decir que una variable o grupo de variables que sean pobres indicadores de la capacidad física, de acuerdo a algunos criterios estipulados, tendrán una baja validez. Sin embargo, raramente la validez sea un tema de preocupación para las mediciones antropométricas ya que las variables que son medidas, por lo general están bien definidas, y no son conceptos abstractos.

Debido a los distintos factores que influyen en la precisión, confiabilidad, y exactitud, la correspondencia entre ellos nunca es certera. Por ejemplo, un alto nivel de confiabilidad normalmente indica un alto nivel de precisión, pero un alto nivel de precisión no siempre está acompañado por un alto grado de confiabilidad. Es bastante posible (y, de hecho, bastante común) que un evaluador demuestre una alta precisión pero un bajo nivel de exactitud. Este sería el caso cuando el evaluador estaba midiendo con una desviación o error constante, pero en forma consistente. Sin embargo, el objetivo del antropometrista debería ser lograr altos grados de precisión, confiabilidad, y exactitud, utilizando una técnica válida de medición.

Para algunas variables antropométricas las mediciones en los sujetos se califican por clases. Por ejemplo, el peso corporal de un remero podría ser clasificado como “peso pesado” o “peso liviano”. Las variables de este tipo son denominadas **cualitativas**. Sin embargo, las técnicas discutidas en este capítulo son apropiadas sólo para variables **cuantitativas**, para las cuales los valores son números. Las técnicas son más adecuadas para variables cuantitativas, que tienen muchos valores posibles, o que pueden asumir cualquier valor dentro de un rango específico.

## 2. VARIABLES DE PRECISION Y CONFIABILIDAD - ETM Y CCI

La variable de precisión que se utilizará en este capítulo es el Error Técnico de **medición** (ETM), definido como el desvío standard de mediciones Repetidas, tomadas independientemente unas de otras, en el mismo sujeto. Las unidades del ETM son las mismas que las unidades de la variable medida.

Se supone que el mismo antropometrista realiza todas las evaluaciones y que el ETM será, por lo tanto, el

ETM intra-evaluador. El desvío standard de las mediciones, tomadas independientemente en el mismo sujeto, por dos o más antropometristas es el ETM inter-evaluador, el cual se supone que excederá al ETM intra-evaluador si existieran diferencias consistentes entre antropometristas. Si una de las dos tomas de mediciones en cada sujeto es realizada por un evaluador “de criterio”, se podría utilizar el ETM inter-evaluador para investigar la exactitud del antropometrista, que realizó la segunda medición en cada sujeto.

El tamaño del ETM, a mentirle, está asociado con la media de la variable. Por ejemplo, para los datos de los pliegues cutáneos es común observar un bajo ETM cuando la media de la muestra es baja, y un alto ETM cuando la media de la muestra es alta. Para facilitar la comparación de los ETM recolectados en diferentes variables o diferentes poblaciones, se podría usar la siguiente fórmula para convertir el **ETM absoluto** en **ETM relativo** (% ETM):

$$\%ETM = \frac{ETM}{media} \times 100$$

donde, la media es el promedio general de la variable que ha sido medida. El ETM relativo da el error en porcentaje de la media total, y no tiene unidades. En otros contextos el % ETM podría estar referido como el coeficiente de variación de la variable.

La variable de confiabilidad que se utilizará en este capítulo es el coeficiente de correlación intraclase, el cual se calcula más fácilmente a partir de los resultados de un **análisis de variancia** (ANOVA). Los cuadrados medios a partir del ANOVA se combinan en una fórmula cociente o de proporción para obtener un CCI. No hay solamente un CCI para una serie determinada de datos. Si se utiliza una fórmula diferente, se obtiene un CCI diferente. Dos interpretaciones del CCI, presentadas en este capítulo, son:

- El CCI indica la correlación entre evaluaciones sucesivas en el mismo sujeto.
- El CCI indica la capacidad del procedimiento de evaluación de discriminar entre sujetos. El CCI siempre es positivo y no tiene unidades. Los valores varían de 0 a 1, con el valor cercano a 1 que indica una alta confiabilidad, ya que entonces las mediciones sucesivas guardan relativamente una estrecha concordancia.

Denegar y Ball (1993) brindaron más información acerca del CCI. Ellos presentan ejemplos numéricos que demuestran que los coeficientes de correlación intraclase representan variables de confiabilidad más adecuadas que los coeficientes de correlación interclase, tal como la correlación producto-momento de Pearson. La razón principal es que los coeficientes interclase son insensibles a los cambios en la media de la muestra de los sujetos, desde un momento al siguiente, mientras que los coeficientes intraclase podrían estar influenciados por tales cambios

### 3. LA OBTENCION DE LOS DATOS DE CONFIABILIDAD

Un punto importante para los datos de confiabilidad es la definición de una medición, el valor que proviene de una única sesión de evaluación. Para algunas variables antropométricas, por ejemplo la estatura o el peso, la medición proviene de una lectura única. Para otras variables, por ejemplo los pliegues cutáneos o los perímetros, lo normal es realizar dos o más mediciones, y luego utilizar la media o la mediana. La ventaja de utilizar lecturas múltiples es que los errores aleatorios tienden a contrarrestarse cuando se usa la media o la mediana. La metodología para una variable en particular constituye el procedimiento de medición, y cualquier ETM o CCI se relacionará con un procedimiento bien definido. Por ejemplo, el ETM y el CCI para la suma de 7 pliegues cutáneos serían específicos para esa variable, y casi con seguridad serán bastante diferentes del FTM y CCI para el perímetro de cabeza. Si se cambia el procedimiento, entonces se deben obtener nuevos datos y se deben recalcular el ETM y el CCI. Por ejemplo, si un antropometrista cambia el uso de calibres Lafayette por calibres Harpenden, debería obtener nuevos datos de confiabilidad para los calibres Harpenden.

Los sujetos medidos para establecer el ETM y el CCI deben ser de la población que será evaluada en el futuro o, al menos, de una población similar. Por ejemplo, si las mediciones futuras se realizarán en un grupo de levantadores de pesas maduros, entonces los datos de confiabilidad no deben establecerse en un grupo de gimnastas prepúberes. El número de sujetos necesario para establecer el ETM y el CCI está determinado por los recursos disponibles pero normalmente debería ser no menor a veinte. Cada sujeto debería ser medido repetidamente por el mismo antropometrista. Dos mediciones son suficientes, y para facilitar el análisis, el número de mediciones debería ser la misma para cada sujeto.

Es posible realizar un análisis más informativo de confiabilidad si se toman todas las primeras series de

mediciones en el mismo momento, y todas las segundas series de mediciones también en el mismo momento, y así sucesivamente. Sin embargo, es difícil dar una definición precisa de "en el mismo momento". Para algunos procedimientos antropométricos "en el mismo momento" pueden significar dentro del período de una mañana o de un día entero. Por lo tanto, si un antropometrista midió el pliegue tricipital en 20 sujetos durante una mañana y luego repitió las mediciones en la tarde del mismo día, podría considerarse que tanto la primera como la segunda serie de evaluaciones del pliegue del tríceps fueron realizadas "en el mismo momento". Aún si los sujetos fueron medidos dentro de un período de dos días, y luego tres días más tarde, fueron medidos nuevamente en un período de dos días, se puede decir que tanto la primera como la segunda serie fueron realizadas "en el mismo momento". Sin embargo, si un antropometrista midió el pliegue tricipital de cada sujeto dos veces, en un período de tres días entre las dos mediciones, pero le llevó tres meses acumular los datos de 20 sujetos, no sería razonable suponer que la primera o la segunda evaluación fueron realizadas "en el mismo momento".

Para algunos procedimientos de medición los valores de los sujetos, en un momento, podrían ser consistentemente diferentes de los valores en otro momento; por ejemplo debido a un cambio en la lectura basal del aparato que está siendo utilizado. Por ejemplo, el punto cero en los calibres Harpenden podría cambiar inadvertidamente luego de una serie de mediciones de pliegues cutáneos, de forma tal que podría sumarse 1 mm a todas las lecturas en la segunda serie. La ventaja de medir a todos los sujetos en el mismo momento en la primera serie, y luego en la segunda serie, es que el análisis puede utilizarse para investigar si han ocurrido cambios entre la primera y la segunda serie de mediciones. Si se observa que hubo cambios, se pueden investigar formas de mejorar los procedimientos de medición.

### 4. TABLAS DE DATOS A UNA VIA Y A DOS VIAS

Los datos de confiabilidad pueden ubicarse en una tabla en la cual las columnas son los sujetos y las líneas son las mediciones repetidas (ver Tabla 1). Sin embargo, el método de cálculo del ETM y del CCI dependerá de la naturaleza de los datos y, en particular, si los datos forman una tabla a una o a dos vías. Deberíamos formular la siguiente pregunta: Se realizaron las mediciones en momentos separados o distintos, bien definidos, siendo todos los sujetos evaluados en una ocasión en el mismo momento, y posteriormente re-evaluados en una segunda ocasión

en el mismo momento, y así sucesivamente?. O, en otras palabras, existe alguna razón por la cual es de esperar que haya alguna diferencia relacionada con el tiempo, entre las series de mediciones que sea aproximadamente la misma para todos los sujetos?

- Si la respuesta es “no”, los datos constituyen una tabla a una vía.
- Si la respuesta es “sí”, los datos constituyen una tabla a dos vías.

SUJETO									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9.9	8.6	11.6	10.3	11.7	9.9	10.8	9.4	7.6	8.8
9.3	8.7	10.6	10.5	11.4	9.6	11.0	9.1	7.4	8.2

**TABLA 1.** Serie hipotética de datos: medición del pliegue tricipital (mm), en 10 sujetos evaluados dos veces.

Se utiliza el término “a una vía” porque, en tal situación, los datos consisten solamente de columnas de números y las líneas no tienen significado. Los números en cada columna pueden estar reordenados sin sufrir ninguna pérdida de información. En una tabla de “a dos vías” tanto las líneas (= tiempo) como las columnas (= sujetos) tienen un significado, y cualquier reordenamiento dentro de una columna podría destruir el patrón de los datos. Cuando los datos forman una tabla “a una vía” entonces el ANOVA se denomina “ANOVA a una vía”, y cuando los datos forman una tabla “a dos vías” el ANOVA es denominado “ANOVA a dos vías”.

Un ANOVA a dos vías se lleva a cabo más fácilmente en una tabla completa de datos sin valores faltantes. Si hay valores perdidos en una tabla a dos vías, las opciones son:

- descartar sujetos hasta que quede una tabla completa y luego llevar a cabo el ANOVA a dos vías;
- llevar a cabo un análisis con ANOVA a una vía;
- buscar asesoramiento estadístico acerca de cómo realizar un ANOVA a dos vías con valores faltantes, y luego cómo obtener estimaciones del CCI y del ETM.

### 5. CALCULO DEL ETM Y DEL CCI CON DOS MEDICIONES POR SUJETO

Muchos autores han presentado una fórmula simple para calcular el ETM a partir de una tabla de datos a una vía (Dahlberg, 1940) la cual utiliza las diferencias entre las dos mediciones. En esta sección se calcularán el ETM y el CCI a partir de una tabla de datos a una vía, llevando a cabo primero un ANOVA a una vía, pero el ETM también será calculado a través del método de diferencias para demostrar que

las dos metodologías de cálculo dan la misma respuesta. También serán calculados el ETM y el CCI a partir de una tabla de datos a dos vías, llevando a cabo primero un ANOVA a dos vías. En las fórmulas generales, el número de sujetos estará representado por la “n” y el número de evaluaciones por sujeto estará expresado por la “k” (para el caso de números iguales) o por k1, k2,...,kn para los sujetos 1 a n (para el caso de números desiguales).

Los datos que se utilizarán como ejemplo son las mediciones del pliegue tricipital (mm) en diez sujetos (ver Tabla 1), aunque en la práctica es aconsejable obtener un mayor número de sujetos.

#### 5.1 Tabla de datos a una vía

En esta sección se supondrá que las primeras mediciones no fueron todas realizadas en el mismo momento, ni tampoco las segundas mediciones, por lo cual los datos forman una tabla a una vía colocando a los sujetos en las columnas. Es común encontrar datos de este tipo, particularmente en situaciones en las cuales el antropometrista no tiene acceso a todos los sujetos como un grupo, sino que debe acumular datos durante varios meses, a medida que los sujetos se encuentran disponibles. En la Tabla 2 encontramos un ANOVA a una vía, el cual se obtiene ya sea utilizando las fórmulas standard presentadas en los libros de texto de estadística, o usando un paquete estadístico de computación.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de los cuadrados	Media cuadrada
Entre sujetos	9	29.812	3.312
Error	10	1.060	0.1060
Total	19	30.872	

**TABLA 2.** Tabla de ANOVA a una vía a partir de la serie de datos presentada en la Tabla 1.

$$ETM = \sqrt{MC_e} = \sqrt{0.1060} = 0.33mm$$

donde,  $MC_e$  = error de la media cuadrada. Debido a que la media de 20 observaciones es 9.72,

$$\%ETM = \frac{ETM}{media} \times 100 = \frac{0.33}{9.72} \times 100 = 3.4\%$$

El CCI está dado por

$$CCI = \frac{MC_s - MC_e}{MC_s + (k - 1)MC_e}$$

donde,  $MC_s$  = media cuadrada entre sujetos, y

$$k = \frac{\sum k_i - \frac{\sum k_i^2}{n-1}}{n-1}$$

(caso de números desiguales). Ya que  $k=2$ , en este ejemplo,

$$CCI = \frac{MC_s - MC_e}{MC_s + MC_e} = \frac{3.312 - 0.1060}{3.312 + 0.1060} = 0.94$$

Cuando el ETM se calcula por el *método de las diferencias*, primero se determinan las diferencias ( $d_i$ ) entre la primera y la segunda medición. Para estos casos las diferencias son:

$$0.6, -0.1, 1.0, -0.2, 0.3, 0.3, -0.2, 0.3, 0.2, 0.6$$

La sumatoria de las diferencias ( $\sum d_i$ ) es 2.8 y la sumatoria de los cuadrados de las diferencias ( $\sum d_i^2$ ) es 2.12. Por lo tanto,

$$ETM = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} = \sqrt{\frac{2.12}{20}} = 0.33mm$$

Esta es la misma respuesta que la obtenida a partir del ANOVA.

## 5.2 Tabla de datos a dos vías

Los datos ahora serán analizados nuevamente suponiendo que forman una tabla a dos vías. En antropometría, esto corresponde a la situación en la cual, por ejemplo, el pliegue tricipital ha sido medido en 20 sujetos en un día, y tres días más tarde fueron re-evaluados los 20 sujetos, también en un mismo día. Es decir, hubo un intervalo de tiempo particular entre la primera y la segunda serie de mediciones, pero cada una fue realizada en el mismo momento. En la Tabla 3 se presenta un ANOVA a dos vías, usando ya sea la fórmula standard o un paquete estadístico de computación. La media en el momento 1 es de 9.86 mm y la media en el momento 2 es de 9.58 mm. A través de un test F se puede evaluar si existió una diferencia significativa entre las medias,

$$F = \frac{MC_t}{MC_e} = \frac{0.392}{0.0742} = 5.28$$

donde,  $MC_t$  = media cuadrada entre momentos u ocasiones

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada
Entre sujetos	9	29.812	3.312
Entre momentos	1	0.392	0.392
Error	9	0.668	0.0742
Total	19	30.872	

**TABLA 3.** Tabla de ANOVA a dos vías para la serie de datos presentada en la Tabla 1.

Debido a que la media cuadrada entre momentos y el error de la media cuadrada tienen 1 y 9 grados de libertad, respectivamente, el cociente F también tiene 1 y 9 grados de libertad. Una tabla de la distribución F muestra que el 5 % de F, con 1 y 9 grados de libertad, excede 5.12 y, por lo tanto, se llega a la conclusión de que las medias para los momentos 1 y 2 son significativamente diferentes a un nivel de significancia del 5 %, ya que 5.28 excede a 5.12.

En este punto, en la práctica, se debería considerar porque las medias fueron estadísticamente diferentes. Si se observara que la diferencia se debió a un cambio en el procedimiento de medición, el cual podría identificarse y evitarse en el futuro, entonces se deberían recoger nuevos datos con el procedimiento modificado y se tendría que repetir el análisis desde el principio. Por ejemplo, si una investigación revelara que la primera serie de medición del pliegue tricipital fue realizada con una cuidadosa marcación del punto acromial, radial y de la distancia media acromial-radial, pero que la segunda serie fue hecha marcando los sitios "a ojo", el antropometrista debería repetir la segunda serie de evaluación utilizando una marcación cuidadosa. Sin embargo, si una investigación detallada de los resultados y de las técnicas no revelara alguna causa identificable para las diferencias entre las medidas, entonces el análisis seguirá con el cálculo del ETM y del CCI. En el presente caso, este último procedimiento es el que se va a desarrollar, para mostrar los métodos de cálculo.

En primer lugar,

$$ETM = \sqrt{\frac{(n-1)MC_e + MC_t}{n}} = \sqrt{0.1060} = 0.33mm$$

Observar que se obtuvo el mismo valor que el cálculo basado en el ANOVA de una vía. El método de las diferencias también podría haber sido utilizado para obtener el ETM, a partir de la tabla de datos de dos vías. El % ETM también es el mismo para los dos análisis, es decir 3,4 %. En términos prácticos, el ETM es bastante pequeño, y es aceptable para las mediciones de los pliegues cutáneos. Se podría

concluir que el evaluador ha realizado mediciones precisas del pliegue del tríceps.

El CCI está dado por,

$$CCI = \frac{n(MC_s - MC_e)}{nMC_s + kMC_t + (nk - n - k)MC_e}$$

Como k = 2, en este ejemplo,

$$CCI = \frac{n(MC_s - MC_e)}{nMC_s + 2MC_t + (n - 2)MC_e}$$

$$CCI = \frac{10(3.312 - 0.0742)}{10(3.312) + 2(0.392) + 8(0.0742)} = 0.94$$

Observan que este valor es cercano, pero no idéntico, al CCI basado en el ANOVA de una vía.

### 6. CALCULO DEL ETM Y DEL CCI CON TRES MEDICIONES POR SUJETO

Cuando se disponen de tres o más mediciones de la misma variable para cada sujeto, no es aplicable el método de las diferencias para calcular el ETM, tal como se describió en la Sección 5. Sin embargo, se podrían utilizar las fórmulas generales para el ETM y el CCI que se presentaron también en dicha Sección, y esta parte contiene ejemplos de los cálculos.

Los datos serán los mismos que para el ejemplo con dos mediciones, pero con el agregado de una tercera evaluación del pliegue tricéptico en cada sujeto (Tabla 4).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9.9	8.6	11.6	10.3	11.7	9.9	10.8	9.4	7.6	8.8
9.3	8.7	10.6	10.5	11.4	9.6	11.0	9.1	7.4	8.2
9.7	8.3	11.2	10.6	12.3	9.9	11.4	9.0	7.8	8.3

TABLA 4. Serie hipotética de datos: medición del pliegue Tricéptico (mm), en 10 sujetos, evaluados 3 veces.

#### 6.1 Tabla de datos a una vía

Suponiendo que los datos forman una tabla a una vía, el ANOVA a una vía arroja los resultados presentados en la Tabla 5.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada
Entre sujetos	9	49.6630	5.518
Error	20	1.8667	0.09333
Total	29	51.5297	

TABLA 5. Tabla del ANOVA a una vía para la serie de Datos, presentada en la Tabla 4.

$$ETM = \sqrt{MC_e} = \sqrt{0.09333} = 0.31mm$$

Como la media de las treinta observaciones es 9.76 mm,

$$\%ETM = \frac{ETM}{media} \times 100 = \frac{0.31}{9.76} \times 100 = 3.2\%$$

Como k = 3, en este ejemplo, el CCI está dado por,

$$CCI = \frac{MC_s - MC_e}{MC_s + 2(MC_e)} = \frac{5.518 - 0.09333}{5.518 + 2(0.09333)} = 0.95$$

#### 6.2 Tabla de datos a dos vías

Suponiendo que los datos forman una tabla a dos vías, el ANOVA a dos vías arroja los resultados presentados en la Tabla 6. Las medidas de los pliegues tricépticos para los momentos 1, 2, y 3 son 9.86 mm, 9.58 mm, y 9.85 mm, respectivamente. Para testear si las medidas son significativamente diferentes, se calcula F,

$$F = \frac{MC_t}{MC_e} = \frac{0.2523}{0.07567} = 3.33$$

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada
Entre sujetos	9	49.6630	5.518
Entre momentos	2	0.5047	0.2523
Error	18	1.3620	0.07567
Total	29	51.5297	

TABLA 6. Tabla del ANOVA a dos vías para la serie de datos, en la Tabla 4.

Como el percentil 95 de F, con 2 y 18 grados de libertad, es 3.55, se puede concluir que las medias no son significativamente diferentes al nivel de significancia del 5%. Sin embargo, 3.33 está cerca de 3.55, por lo cual se deberían considerar las posibles razones por las cuales la segunda media está por debajo de las otras dos. Si no se observan razones de importancia, entonces se dará por aceptado el procedimiento de medición en su forma actual, y se procederá con el análisis.

$$ETM = \sqrt{\frac{(n-1)MC_e + MC_t}{n}} = \sqrt{\frac{9(0.07567) + 0.2523}{10}} = 0.31mm$$

Nuevamente, se obtuvo la misma respuesta que la calculada a través del ANOVA a una vía, y el % ETM es el mismo para los dos análisis, es decir 3.2 %.

Como  $k = 3$ , en este ejemplo,

$$CCI = \frac{n(MC_s - MC_e)}{nMC_s + 3MC_t + (2n - 3)MC_e}$$

$$= \frac{10(5.518 - 0.07567)}{10(5.518) + 3(0.2523) + 17(0.07567)} = 0.95$$

Nuevamente, este valor es muy cercano, pero no idéntico, al CCI basado en el ANOVA a una vía.

## 7. INTERPRETACION Y APLICACION DEL ETM Y DEL CCI

### 7.1 CCI

El ANOVA a una vía, de los datos con dos mediciones por sujeto, del pliegue tricipital (ver Sección 5.1) dio un CCI de 0.94 y la interpretación de este valor se desarrolla en el siguiente párrafo.

Supongamos que el antropometrista intenta utilizar el mismo procedimiento de evaluación en un grupo de sujetos a partir de la misma población, o de una similar, a aquella de la cual tomó 10 sujetos en la muestra testeada. Entonces una estimación de la correlación entre evaluaciones sucesivas en un solo sujeto será de 0.94. Como 0.94 está muy cerca del máximo CCI posible, que es 1, es de esperar un alto nivel de concordancia entre las sucesivas mediciones. El procedimiento de evaluación tendrá un alto nivel de confiabilidad. El valor de 0.94, obtenido a partir del ANOVA a dos vías con los mismos datos, sería interpretado en forma similar.

### 7.2 ETM

El ETM podría ser utilizado de diversas maneras. Se presentarán cuatro ejemplos; los dos primeros, usando el ETM de 0.33 mm obtenido a partir de los datos con dos mediciones del pliegue tricipital por sujeto (ver Sección 5.1). Todos estos ejemplos suponen que el procedimiento de medición no cambió, ya que fue calculado el ETM. Idealmente, los sujetos evaluados en el futuro deberían pertenecer al grupo (o a la población) utilizada para obtener el ETM. Observar también que un valor de ETM es único para el

antropometrista que obtuvo los datos, aunque los valores para distintos antropometristas que tienen elevada experiencia, normalmente, serán muy cercanos entre sí.

### Ejemplo 1

*Un deportista es evaluado y se obtiene un pliegue tricipital de 9.3 mm. Cuáles son los límites de confianza del valor verdadero para dicho deportista?*

El error standard de la medición será de 0.33 mm, y aproximadamente un intervalo de confianza del 68 % para el valor verdadero, provendrá de

**[9.3 - 0.33] a [9.3 + 0.33]; por ej., de 9.00 mm a 9.6 mm.**

Alternativamente, un intervalo de confianza del 95 % para el valor real, será

**[9.3 - 2(0.33)] a [9.3 + 2(0.33)], de 8.6 mm a 10 mm.**

En general, el ETM es el error standard de una sola medición. (La medición + / - ETM) da el intervalo aproximado de confianza del 68 % para el valor real del sujeto. (La medición + / - 2 x ETM) da el intervalo de confianza del 95 % para el valor verdadero del sujeto.

Aunque el ETM es el desvío standard de mediciones repetidas, se ha utilizado el término error standard, dado que es así por convención, cuando el problema que está siendo considerado es de un muestreo y estimación subsecuente. En este caso, la estimación es del valor verdadero del sujeto.

### Ejemplo 2

*Un deportista es evaluado dos veces, en un lapso de un mes, con la intención de testear si el valor verdadero del atleta ha cambiado, por ejemplo, entre las dos mediciones sucesivas como resultado de alguna dieta o entrenamiento. Los valores son 9.3 mm, seguido por 8.5 mm.*

Cada evaluación tendrá un error standard de 0.33 mm. La diferencia entre las mediciones es  $8.5 - 9.3 = -0.8$  mm y el error standard de la diferencia es  $0.33 \times \sqrt{2} = 0.47$  mm. Un intervalo de confianza de 68 % para el cambio verdadero, derivará de

**[- 0.8 - 0.47] a [- 0.8 + 0.47], por ej., de -1.3 mm a -0.3 mm.**

Debido a que el intervalo no incluye el cero, se podría concluir que el sujeto cambió. Efectivamente, se ha llevado a cabo un test para probar la hipótesis nula de que el valor verdadero no había cambiado, y que la hipótesis había sido rechazada al nivel de significancia de 32% (el complemento de 68%).

Alternativamente, un intervalo de confianza de 95% para el cambio real, derivará de

**[- 0.8 – 2 (0.47)] a [- 0.8 + 2(0.47)], por ej., de -1.7 mm a 0.1 mm.**

Como el intervalo de confianza incluye el cero, se podría concluir (al nivel de significancia del 5%) que el valor real del sujeto no cambió entre las dos evaluaciones sucesivas. En general, el ETM x 2 da el error OJO standard de la diferencia entre 2 mediciones sucesivas. (La diferencia +/-error standard) da el intervalo aproximado de confianza de 68 % para el cambio real. (La diferencia +/- 2 errores standard) da el intervalo de confianza del 95 % para el cambio verdadero.

### Ejemplo 3

*Se mide dos veces la suma de siete pliegues cutáneos ( $\sum 7$ ) en una gimnasta de elite, con dos semanas de intervalo entre evaluaciones, para controlar su composición corporal. El entrenador quiere saber si su grasa subcutánea se mantiene a un nivel constante. Los valores de la  $\sum 7$  fueron de 38 mm en la primera medición, y de 41 mm, dos semanas más tarde. Antes de llevar a cabo estas mediciones, el antropometrista había obtenido un ETM de 2.9 mm para la  $\sum 7$  pliegues en una muestra de 30 gimnastas mujeres de elite.*

La diferencia entre la semana 0 y la semana 2 es 38 - 41 = - 3 mm, y el error standard de la diferencia es 2.9 x  $\sqrt{2}$  = 4.1 mm. El intervalo de confianza del 68 % para el cambio real es [- 3 - 4.1] a [- 3 + 4.1], es decir de - 7.1 mm a 1.1 mm. Como el intervalo incluye el cero, se podría concluir que (al nivel de significancia del 32 %) el valor real de la gimnasta no cambió. Alternativamente, el intervalo de confianza del 95% para el valor real es [-3 - 2(4.1)] a [-3 + 2(4.1)], es decir - 11.2 mm a 5.2 mm. Nuevamente, como el intervalo incluye el cero, se concluye que (en el nivel de significancia del 5 %) el valor verdadero de la deportista no cambió.

### Ejemplo 4

*Supongamos que, para la situación considerada en el ejemplo 3, el entrenador está buscando que la  $\sum 7$  no sea mayor a 40 mm. Habiendo observado 41 mm en la segunda medición, puede el entrenador concluir que el valor verdadero de la  $> 7$  excedía 40 mm en el momento de la evaluación?*

Un intervalo de confianza aproximado de 68 % para el valor real, será

**[41 - 2.9] a [41 + 2.9] , es decir, de 38 mm a 44 mm.**

Como 40 está incluido dentro del intervalo, se podría concluir (al nivel de significancia del 16 %), que el valor real de la gimnasta no excedía 40 mm. La diferencia entre el valor observado de 41 mm y el límite superior de 40 mm está dentro del rango atribuible al error aleatorio. El nivel de significancia es 16 % más que 32 %, lo cual es de esperar ya que el intervalo era un intervalo de confianza de 68 % ya que el test llevado a cabo es en una sola dirección. El interés está en si el valor real excede 40 mm, más que en saber si el mismo no es igual a 40 mm.

Alternativamente, el intervalo de confianza del 95 % para el valor real, será

**[41 - 2(2.9)] a [41 + 2(2.9)], es decir, de 35 mm a 47 mm.**

Como 40 está dentro del intervalo, se podría concluir que (en el nivel de significancia de 2.5%) el valor verdadero de la gimnasta no fue mayor a 40 mm.

## 8. MARCO TEORICO

Consideremos la medición del pliegue tricipital de 9.9 mm, en el primer sujeto en la Tabla 1. Podría haberse dado el caso de que el valor real del sujeto en aquel momento, tomado a largo plazo, fuera de 9.6 mm pero que hubiera un error de 0.3 mm atribuible, podríamos decir, a un error de medición o a la variabilidad biológica del sujeto, a través del tiempo. Se podría formular la siguiente ecuación:

$$9.9 = 9.6 + 0.3$$

Por lo general, se puede formular el siguiente modelo (Modelo 1):

medición en el sujeto = valor real del sujeto + error

Este es el modelo adecuado si se considera que los datos forman una tabla a una vía. Es el modelo que forma la base para el ANOVA a una vía. Se supone que el error promedio es cero, por lo que la medición es igual al valor real. La variancia de los efectos del error se podría escribir como  $\sigma_e^2(1)$  y, si se puede asumir que los sujetos forman una muestra aleatoria de una población de sujetos, entonces la variancia de los valores reales de los sujetos podría ser  $\sigma_s^2(1)$ .

Para el Modelo 1, el ETM es la raíz cuadrada de la estimación de  $\sigma_e^2(1)$ , y el CCI es el cálculo de

$$\frac{\sigma_s^2(1)}{\sigma_s^2(1) + \sigma_e^2(1)}$$

Por lo tanto, el CCI es el cálculo de la proporción de la variabilidad combinada para los sujetos, y el error que podría atribuirse a la variabilidad entre los mismos.

Ahora, consideremos el caso en el cual los datos forman una tabla a dos vías (tal como fue discutido por Denegar & Ball, 1993; Guilford, 1965; Verducci, 1980). Nuevamente, podría darse el caso de que el valor real del sujeto, tomado a largo plazo, fuera de 9.6 mm, pero que hubiese un aumento (aplicable a todos los sujetos) de 0.5 mm, asociado con la primera medición y un error (único para el sujeto) de - 0.2 mm. Entonces, podría formularse la siguiente ecuación:

$$9.9 = 9.6 + 0.5 - 0.2$$

Por lo general, este modelo (Modelo 2) puede formularse de la siguiente manera:

medición en el sujeto = valor real del sujeto + efecto del tiempo + error

Este es un modelo adecuado si se considera que los datos forman una tabla a dos vías. Cada sujeto tiene el mismo efecto del tiempo incluido en su primer medición, y cada sujeto tiene el mismo efecto del tiempo (probablemente distinto del efecto del tiempo o momento 1) incluido en la segunda evaluación. Este modelo forma la base para el ANOVA a dos vías. El efecto del tiempo o del momento no está presente en el Modelo 1, y la variancia de los efectos del tiempo podría formularse como  $\sigma_t^2$ . La variancia de los efectos de los sujetos es  $\sigma_s^2(2)$ , y la variancia de los efectos del error es  $\sigma_e^2(2)$ .

Bajo las Secciones 5.2 y 6.2, que consideran el ANOVA a dos vías, se sugirió que debería utilizarse un test F para determinar si los efectos del tiempo fueron diferentes entre sí. Si se observaba que fueron diferentes, el procedimiento de evaluación era investigado para ver si un procedimiento mejorado (con marcaciones más rigurosas en el sujeto) podría eliminar o, al menos, minimizar las diferencias entre los tiempos o momentos de las mediciones. Si se hiciese esto, y aún persistiesen las diferencias entre tiempos o momentos, entonces el método utilizado sería con relación a la persistencia de la variabilidad entre tiempos, como un componente de un inevitable error aleatorio.

Para el Modelo 2, el ETM es la raíz cuadrada de la estimación de  $[\sigma_e^2(2) + \sigma_t^2]$ . Si una tabla de datos a dos vías es analizada con un ANOVA a una vía, y luego con un ANOVA a dos vías, los ETM de los dos análisis serán iguales, ya que  $\sigma_e^2(1) = \sigma_e^2(2) + \sigma_t^2$ .

Para el Modelo 2, el CCI es la estimación de

$$\frac{\sigma_s^2(2)}{\sigma_s^2(2) + \sigma_t^2 + \sigma_e^2(2)}$$

Por lo tanto, el CCI es la estimación de la proporción de la variabilidad combinada para los sujetos, tiempo, y error que pueden atribuirse a la variabilidad entre sujetos. Si una tabla de datos a dos vías es analizada con un ANOVA a una vía, y luego con uno a dos vías, los CCI de los dos análisis serán cercanos entre sí, si la variabilidad entre tiempos es pequeña.

En general, el CCI será cercano a 1 si existe una alta variabilidad entre sujetos [ $\sigma_s^2(1)$  o  $\sigma_s^2(2)$  es grande], o si existe una baja variabilidad entre las mediciones repetidas en el mismo sujeto [ $\sigma_e^2(1)$  o  $\sigma_e^2(2)$  es pequeño], o si existen ambas condiciones. Para el Modelo 1, un valor de 1 para el CCI indicaría una perfecta capacidad para discriminar entre sujetos [ $\sigma_e^2(1) = 0$ ; las mediciones repetidas en el mismo sujeto son idénticas], y un valor de 0 indicaría ninguna capacidad discriminatoria [ $\sigma_s^2(1) = 0$ ; todos los sujetos son iguales en su efecto]. Una afirmación similar podría formularse para el CCI en el Modelo 2, si la variabilidad entre momentos o tiempos fuera insignificante. Desde el punto de vista de la capacidad de las mediciones para discriminar entre sujetos, es deseable, por lo tanto, obtener un valor de CCI cercano a 1. Si se compararan dos procedimientos diferentes de medición para un único grupo de sujetos, entonces podría utilizarse el CCI para realizar dicha comparación, ya que tanto  $\sigma_s^2$  como  $\sigma_e^2$ , podrían concebirse que dependen del mismo procedimiento de medición. Si se compararan dos laboratorios, cada uno utilizando el mismo protocolo de medición, se podría utilizar el CCI, pero una comparación justa requeriría la suposición de que los sujetos utilizados por cada laboratorio provienen de la misma población. De lo contrario, un laboratorio podría tener un menor CCI que el otro, dado que los sujetos que utilizó eran inherentemente menos variables ( $\sigma_s^2$  era más bajo), y no por una deficiencia en el procedimiento de evaluación, en cual resultó en un elevado  $\sigma_e^2$ . En el Capítulo 13, se discuten los valores mínimos de ETM para los distintos niveles de acreditación.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

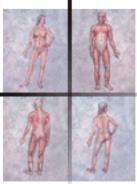
- Dahlberg, G. (1940). **Statistical methods for medical and biological students**. London: George Allen & Unwin.

Denegar, C.R., & Ball, D.W. (1993).  
**Assessing reliability and precision of measurement: an introduction to intraclass correlation and standard error of measurement.**  
Journal of Sports Rehabilitation, 2, 35 - 42.

Guilford, J.P. (1965).  
**Fundamental statistics in psychology and education.**  
New York: McGraw-Hill.

Verducci, E.M. (1980).  
**Measurement concepts in physical education.**  
London: C.V. Mosby.

## CAPÍTULO 4



# CALIBRACIÓN DE LOS CALIBRES DE PLIEGUES CUTÁNEOS HARPENDEN

Robert Carlyon, Christopher Gore, Sarah Woolford, y Robert Bryant

### 1. INTRODUCCION

Los calibres de pliegues cutáneos son relativamente económicos y proporcionan un método conveniente para controlar los cambios en los patrones de los pliegues cutáneos y el grosor total de los mismos, a través de la medición de la grasa o adiposidad corporal subcutánea. Un antropometrista puede llevar a cabo mediciones duplicadas, en un grupo de 20 o 30 sujetos, para establecer su propio error técnico de medición (ETM - ver Capítulo 3), pero debería aclararse que el ETM es específico para cada evaluador, para su propia población experimental, y para el calibre utilizado. De cualquier manera, los ETM suponen características constantes de los instrumentos, con el tiempo. Si varían las características del instrumento, tal es por ejemplo, si la presión de los platillos del calibre (fuerza por unidad de superficie =  $N.mm^{-2}$ ) no es calibrada, entonces los ETM serán de utilidad limitada. Edwards, Hammond, Healy, Tanner, y Whitehouse (1955) estudiaron la performance del calibre utilizando una calibración de la escala superior (es decir, la apertura de los platillos), y también investigaron los efectos de la presión de los platillos en la precisión para medir el grosor del tejido subcutáneo. Ellos observaron que la presión ejercida por el calibre tenía un efecto significativo, tanto sobre el grosor del pliegue medido, como en la consistencia con la cual la medición era repetida. Si la presión de los platillos era demasiado suave, las mediciones de los pliegues no sólo eran superiores a lo real, sino que eran también menos reproducibles. Observaron que los pliegues eran muy reproducibles para presiones de los platillos entre 9 y 20  $gr.mm^{-2}$  (equivalente a 0.008 - 0.196  $N.mm^{-2}$ ). También recomendaron que los calibres no variaran en la presión de sus platillos en más de 2.0  $gr.mm^{-2}$  (0.020  $N.mm^{-2}$ ), en un rango de separación de platillos de 2 - 40 mm, y que la presión standard de los mismos fuera de 10  $gr.mm^{-2}$  (0.098  $N.mm^{-2}$ ). Otros estudios (Behnke & Wilmore, 1984; Keys, 1956) también han recomendado una presión de platillos en escala ascendente (es decir, separando las ramas), superior de 10  $gr. mm^{-2}$ . Por el contrario, Schmidt y Carter (1990) utilizaron la determinación de la presión de los platillos en escala descendente (es decir, cerrando los platillos), y observaron un

promedio de 8.25  $gr.mm^{-2}$  (0.081  $N.mm^{-2}$ ), en diez nuevos calibres Harpenden. Además, evaluaron calibres Lange, Slim Guide, Skyndex, y Lafayette, y ninguno tuvo una presión de platillos, en la escala inferior, mayor a 8.67  $gr. mm^{-2}$  (0.085  $N.mm^{-2}$ ).

A pesar de la recomendación de Edwards y colegas (1955) de utilizar una superficie standard de los platillos de 6 x 15 mm, las diferencias entre las distintas marcas de calibres, observadas por Schmidt y Carter (1990), son consecuencia del hecho que aún no existen normas standard, ya sea para la superficie de los platillos o para la tensión de los resortes. Entonces, la presión recomendada para los platillos de 10.0  $gr.mm^{-2}$  (0.098  $N.mm^{-2}$ ) puede obtenerse con platillos con una pequeña superficie y resortes livianos, o con platillos de gran superficie y resortes fuertes. Utilizando bloques de goma espuma que brinden una calibración dinámica, en la escala inferior, de cinco marcas comunes de calibres, Schmidt y Carter (1990) demostraron que los calibres con resortes livianos tienden a producir valores más elevados, es decir que no comprimen la goma espuma tanto como los calibres con resortes más fuertes. Dos estudios recientes han verificado que estas diferencias observadas con calibraciones dinámicas, con bloques de goma espuma, se trasladan a diferentes grosores de pliegues. Gruber, Pollock Graves, Colvin, y Braith (1990) observaron que los calibres Harpenden daban consistentemente valores más bajos de pliegues cutáneos que los calibres Lange, mientras que Zillikens y Conway (1990) observaron que los calibres Holtain daban sistemáticamente lecturas inferiores a las de los calibres Lange. Este capítulo describe cuatro métodos de calibración de la presión de los platillos de los calibres de pliegues cutáneos, y también como calibrar la separación entre platillos. La Compañía British Indicators Ltd. recomienda que los calibres Harpenden deberían ser retornados a la Compañía para su calibración, pero la información contenida en este capítulo ofrece una alternativa para los antropometristas que se preocupan por mantener un control más frecuente de sus propios calibres. Los datos presentados en este capítulo también desafían las recomendaciones de Edwards y cols. (1955), acerca de una presión absoluta de platillos de 10.0 +/- 2.0  $gr.mm^{-2}$  (0.098  $N.mm^{-2}$ ). Los resultados

presentados sugieren que una diferencia de solo  $1.0 \text{ gr.mm}^{-2}$  ( $0.0098 \text{ N.mm}^{-2}$ ) en un rango de separación de platillos de 2 a 40 mm, podría llevar a errores en los totales de pliegues cutáneos. También proponemos que, tanto la calibración en la escala superior como inferior, podría ser necesaria para caracterizar adecuadamente los calibres de pliegues cutáneos. Si bien todavía no podemos proponer tolerancias más estrictas de presión de calibración absolutas, debido a que no disponemos de datos adecuados, sugerimos un método conveniente para controlar la presión de los platillos con calibración relativa (con bloques de goma espuma), lo cual es útil dentro de un laboratorio de antropometría.

### 1. DESCRIPCION DEL CALIBRE

El calibre Harpenden es un instrumento de precisión que utiliza dos resortes para aplicar una fuerza de cierre a los platillos, y éstos tienen una superficie cada uno de  $90 \text{ mm}^2$  ( $6 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ ). El platillo superior es “fijo”, el cual soporta el “pivot”, sobre el cual rota el platillo inferior, el mango, y el reloj indicador (Figura 1). La ley de Hooke sobre elasticidad establece que la tensión en un resorte es directamente proporcional al “stress” que actúa sobre el resorte. Es decir, el aumento en la longitud del resorte es directamente proporcional a la fuerza que actúa sobre el resorte. Si no se tuviera en cuenta la ley de Hooke durante la fase del diseño, los calibres de pliegues cutáneos podrían tener una presión de platillos que podría variar proporcionalmente la separación entre los mismos. Bajo estas circunstancias, sería dificultoso sumarse a la recomendación de Edwards y cols. (1955), quienes sostenían que la presión de los platillos no debería variar en más de  $2.0 \text{ gr.mm}^{-2}$  ( $0.020 \text{ N.mm}^{-2}$ ), dentro del rango de operación.

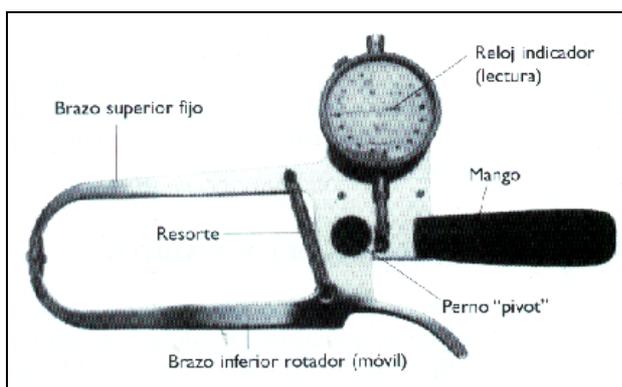


FIGURA 1. Calibre para pliegues cutáneos Harpenden

El diseño de los calibres Harpenden parece seguir la ley de Hooke, ya que los resortes han sido colocados entre los platillos en tal posición que, a medida que aumenta la separación de los mismos, el punto al cual el resorte aplica la fuerza es efectivamente movido a

lo largo de las “palancas” de los platillos más cercana de la posición del “pivot”. . Suponiendo que las características de los resortes no cambian a partir de la especificación del diseño, el resultado de la acción es que la fuerza aplicada a los platillos permanece relativamente constante, a medida que aumenta la separación de los mismos. Esta fuerza constante se traslada a una presión de platillos relativamente constante, dentro del rango normal de operación para estos calibres.

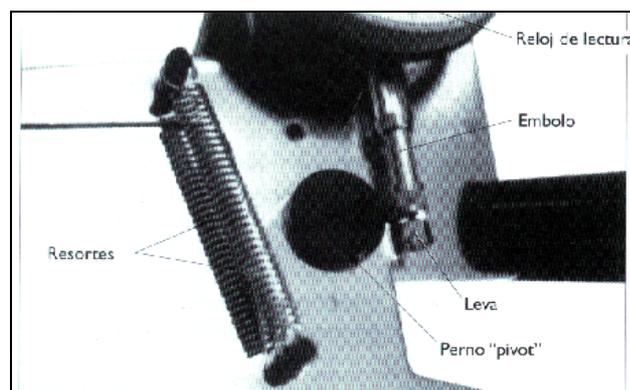


FIGURA 2. Vista muy cercana del “pivot” del calibre Harpenden

Los resortes están instalados en cada lado de los brazos del “pivot”. El diseño del brazo inferior móvil incluye una pequeña leva al costado del “pivot”, opuesta a los resortes y a los platillos. Esta leva interactúa con el émbolo del indicador de medición para determinar la distancia que hay entre los dos platillos (Figura 2).

Las características de los resortes pueden alterarse con el tiempo y con la contaminación del medio ambiente en el cual son utilizados. Además, el lubricante del “pivot” tiende a degradarse con el tiempo y la contaminación, mientras que las superficies de contacto en la interface entre la leva y el émbolo del indicador tienden a desgastarse. Estos factores, junto con algún daño físico en los platillos o en su alineación, deberían ser los puntos principales de preocupación de cualquier procedimiento de calibración.

### 3. METODOS DE CALIBRACION DE LA PRESION DE LOS PLATILLOS

Existen cuatro métodos posibles para calibrar la fuerza de los platillos [en gramos (gr), o más correctamente en Newtons (N)] y la presión de los mismos (es decir la fuerza por unidad de superficie, en  $\text{gr.mm}^{-2}$  o  $\text{N.mm}^{-2}$ ). La calibración puede realizarse ya sea en forma estática (platillos quietos), o dinámica (platillos en movimiento); y puede ser en escala

ascendente (abriendo los platillos) o descendente (cerrando los platillos).

#### a. Escala ascendente estática (Figura 3)

Una de las primeras referencias para la calibración de estos instrumentos proviene de Edwards y cols. (1955, p. 142), quienes utilizaron un método estático en escala ascendente (platillos en apertura). Esto se puede realizar fijando un brazo del calibre horizontalmente en una varilla con tornillo, y colgar del otro brazo un platillo con pesas. Se puede registrar la apertura de los platillos con una serie de pesas, desde 900 gr. hacia arriba, a intervalos de 10 gr Sin embargo, los principales defectos de este método de calibración son que no es dinámico (los platillos se abren y luego permanecen separados), y que es exactamente opuesto al modo descendente (por ej., donde los platillos se cierran), que es el modo en el cual los calibres son utilizados para medir el grosor de los pliegues.

#### b. Escala ascendente dinámica

No existen investigaciones que describan la presión del calibre cuando los platillos se abren lentamente. Sin embargo, este método podría ser útil para evaluar la histéresis, en comparación con la calibración en escala descendente dinámica, para ver si existe una excesiva resistencia de apertura asociada con el "pivot" del calibre. ("Histéresis" se refiere a las distintas características de stress-tensión cuando algún elemento es estirado, en oposición a cuando la elongación es liberada. En este caso es el grado al cual la tensión sobre los resortes del calibre, durante la calibración, refleja el "stress" al que han sido sometidos los mismos con anterioridad, así como el presente "stress". Por lo tanto, si la calibración en escala ascendente afecta las características de los resortes, durante la posterior calibración en escala descendente, se podrían medir las presiones "alteradas" de los platillos).

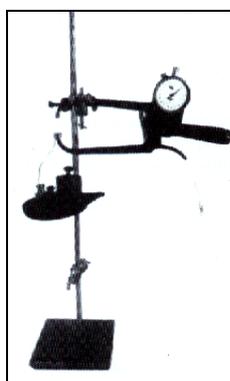


FIGURA 3. Sistema de calibración en escala ascendente, estática.

#### c. Escala descendente estática (Figura 4)

Schmidt y Carter (1990) describieron en forma clara como usar la determinación de la presión de los platillos en escala descendente, estática (es decir, la compresión). Los autores utilizaron una escala calibrada con resorte para medir la presión ejercida por los calibres con aperturas de platillos de 10, 20, 30, 40, y 50 mm.

Tuvieron cuidado en asegurarse que el ángulo de la presión ejercida sobre la cara del platillo del calibre se mantuviera en 90 grados. Este método es bien controlable, pero no imita el modo dinámico en el cual los calibres son utilizados.

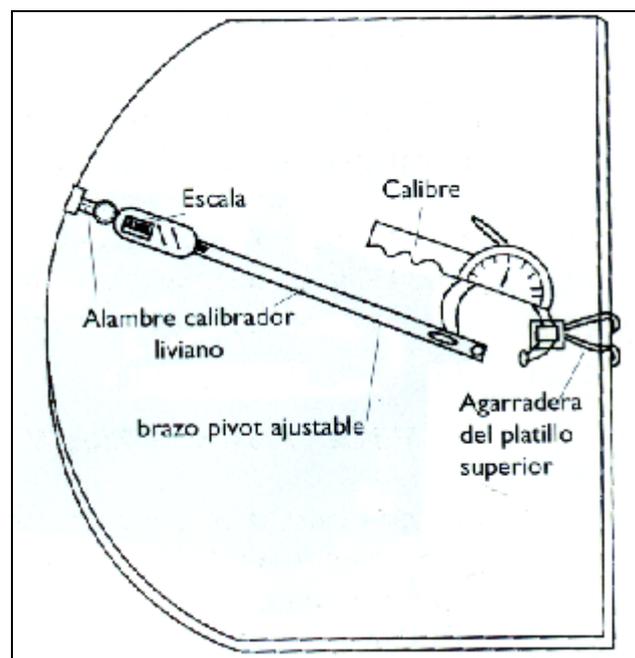
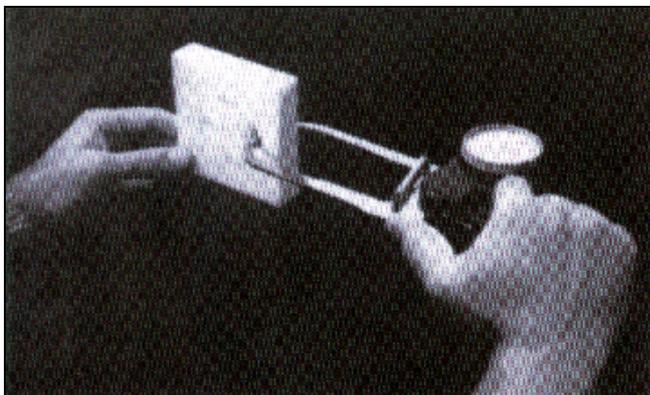


FIGURA 4. Sistema de calibración en escala descendente, estática. Reproducido con el permiso de Pau Schmidt y Lindsay Carter.

#### d. Escala descendente dinámica (Figura 5)

Schmidt y Carter (1990) fueron los primeros en describir como se podían utilizar bloques de goma espuma compacta, de distintos espesores, para simular las características de la piel humana y el tejido adiposo, y desarrollar de esta manera una calibración dinámica de los calibres de pliegues cutáneos. La característica fundamental de este procedimiento es que los platillos se van cerrando lentamente, lo cual replica el verdadero modo de uso. Utilizar bloques de goma espuma para esta técnica tiene distintas limitaciones. En primer lugar, los bloques de goma espuma son relativamente fáciles de dañar y, como lo describieron Carter y Schmidt (1990), se deteriorarán, a menos que se guarden lejos de la luz directa y sin compresión. También, debido al proceso de

fabricación, la densidad de la goma espuma compacta no es igual en todos los lugares, lo cual significa que los sitios de medición deben ser cuidadosamente marcados en la misma, para permitir resultados reproducibles. Finalmente, los bloques de goma espuma sólo permiten una calibración relativa y no permiten una presión absoluta y cuantificada del cierre de los platillos.



**FIGURA 5.** Ingenieros utilizando bloques de goma espuma para la calibración.

### 3.1 Calibración absoluta

#### 3.1.1 Calibración de la presión de los platillos con célula de carga

La Figura 6 muestra una forma en la que se puede medir la presión absoluta de los brazos del calibre utilizando cuatro combinaciones posibles presentadas anteriormente. A pesar de haber sido desarrollado independientemente del sistema descrito por Schmidt y Carter (1990), este sistema incorpora muchos de los principios utilizados en los antiguos aparatos. Mientras que el sistema presentado por Schmidt y Carter (1990) utiliza una balanza con resorte para medir la fuerza que es aplicada por los resortes el sistema mostrado en la Figura 6 utilizó una célula de carga de 2kg (Scale Components, Brisbane, Australia) montada sobre un brazo de palanca, el cual era libre para rotar sobre un "pivot" adherido a una tabla posterior. Se utilizó una célula de carga de estilo "S" para minimizar los movimientos laterales. La célula de carga fue colocada en el brazo de palanca, de modo que la fuerza necesaria para separar los platillos fuera ejercida en 90 grados sobre el rango total de separación de los mismos. Para que ocurra esto, el "pivot" de los calibres en estudio era alineado verticalmente con el "pivot" del brazo de palanca, y se

utilizaba un gancho para sostener el brazo superior del calibre. La célula de carga era conectada a un amplificador/indicador de la tensión, cuyo resultado era aplicado directamente al ingreso de datos de un sistema computado de adquisición de datos. Una característica singular de este sistema de calibración es el "controlador de la separación" (Figura 6), el cual puede ser utilizado para abrir o cerrar lentamente los platillos (a aproximadamente 2mm/seg.), mientras la fuerza dinámica de apertura o cierre es registrada en el sistema de adquisición de datos.

La precisión del equipo de calibración fue expresada utilizando el coeficiente de variación (es decir, el desvío standard dividido por la media, expresado en porcentaje) para mediciones triples de la presión de los platillos a los 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 mm. El promedio total del coeficiente de variación en las 8 separaciones fue de 0.22 % para la calibración ascendente dinámica, y del 0.88 % para la calibración descendente estática. Las principales desventajas del sistema de calibración con una célula de carga es que es relativamente caro y que requiere de experiencia técnica para armarlo.

#### 3.1.2 Estudios de casos - Servicio de los calibres y reposición de resortes

El beneficio de la calibración absoluta de los calibres de pliegues cutáneos puede demostrarse considerando varios estudios de casos. Los datos en la Tabla 1 fueron recolectados de cuatro calibres viejos y de cuatro calibres nuevos, y muestran tres puntos claves para la calibración de los Calibres de pliegues cutáneos.

- La condición del "pivot" del calibre (bien engrasado y funcionando suavemente) es fundamental para el rendimiento del mismo. (Los resultados del calibre A1 muestran que la reparación del pivot redujo la presión de los platillos de 11.61 a 10.59 gr.mm<sup>-2</sup>, ante una separación de 40 mm).
- La antigüedad o las características de distintos resortes alteran la presión ejercida por los platillos, si bien esto varía con los diferentes calibres. (Mientras que los calibres A2 y A3 tuvieron presiones mayores a 10.0 gr.mm<sup>-2</sup> el calibre C4 tuvo menos de 9.5 gr. mm<sup>-2</sup>, y A1 varió entre 9.5 y 11.6 gr.mm<sup>-2</sup>, ante una separación de platillos entre 5 y 40 mm).

Separación de los platillos (mm)									
		5	10	15	20	25	30	35	40
ID del calibre	Condición	Presión ante la separación de brazos (gr.mm <sup>-2</sup> )							
A1*	Resortes originales	9.52	9.82	10.12	10.42	10.71	11.01	11.31	11.61
	Pivot reparado	9.82	9.82	10.12	10.12	10.42	10.42	10.42	10.59
	Resortes nuevos, Pivot reparado	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12
C4+	Resortes originales	8.96	9.08	9.14	9.21	9.24	9.30	9.32	9.39
	Resortes nuevos	10.41	10.40	10.26	10.22	10.17	10.18	10.13	10.20
A2+	Resortes originales	10.57	10.86	10.96	10.98	11.10	11.11	11.11	11.11
	Resortes nuevos	9.61	9.62	9.61	9.62	9.58	9.58	9.54	9.53
A3+	Resortes originales	11.01	11.09	11.15	11.10	11.10	1.18	11.21	11.04
	Resortes nuevos	10.24	10.27	10.32	10.30	10.32	10.21	10.12	10.14
B1*	Completamente nuevo	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12
B2*	Completamente nuevo	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12
B3*	Completamente nuevo	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12	10.12
C1+	Completamente nuevo	10.45	10.49	10.45	10.36	10.26	10.18	10.08	10.11

**TABLA 1.** Calibración dinámica en escala ascendente de varios calibres Harpenden. Datos recolectados utilizando tanto una balanza con resortes calibrada (\*), como una célula de carga calibrada (+) (Nota: la resolución de la balanza era de 25 gr., mientras que la resolución de la célula de carga era de 3 gr.).

- Las diferencias en las características de los resortes nuevos (por ejemplo, tipo de acero y longitud del resorte) podrían producir diferencias entre los calibres que tienen el pivot reparado. (Mientras que los calibres B1, B2, y B3 tenían presiones de 10.12 gr. mm<sup>-2</sup> a una separación de 10.0 mm, el calibre C1 tuvo una presión de 10.49 gr.mm<sup>-2</sup>). Hasta que más datos se hayan recolectado en cada uno de estos puntos, el mejor método a adoptar por un antropometrista, lo que mejorará las posibilidades de obtener resultados reproducibles durante muchos años de medición, es asegurarse: que el “pivot” de su propio calibre esté bien engrasado, que el perno del “pivot” no esté excesivamente ajustado, y de comprar varios juegos de resortes al mismo momento, de forma que los mismos provengan del mismo lote de fábrica (y, por lo tanto, tengan similares características mecánicas).

### 3.1 .3 Implicancias fisiológicas de las diferencias entre resortes

Edwards y cols. (1955) recomiendan que la presión de los platillos sea de 10.0+/- 2.0 gr.mm<sup>-2</sup> (0.098 +/-

0.020 N.mm<sup>-2</sup>). Nosotros investigamos esta propuesta utilizando un utropometrista altamente experimentado, con un ETM definido para realizar mediciones repetidas en deportistas, usando el calibre C4. El mismo calibre (C4) fue utilizado para medir el grosor de los pliegues subcutáneos en 10 deportistas mujeres de distintas disciplinas, primero con resortes originales (que, se estimaba, tenían 4 años y habían sido usados en 30.000 mediciones), y luego con resortes nuevos. Primero se marcaron las marcas anatómicas para los siete sitios (tríceps, subescapular, bíceps, supraespinal, abdominal, muslo frontal, y pantorrilla medial - ver Capítulo 2), y luego se midieron usando el calibre C4. Después se calculó la sumatoria de los siete sitios ( $\sum 7$ ) para cada juego de resortes. El ETM para el antropometrista que llevó a cabo estas mediciones había sido establecido un mes antes usando los mismos calibres, y en 19 sujetos cuya  $\sum 7$  varió entre 47.1 y 121.8 mm. El ETM y el % ETM para la  $\sum 7$  fue de 0.96 y 1.12 %, respectivamente. Este ETM es de la misma magnitud que el reportado por Lohman (1981) para mediciones repetidas. La sumas de los siete pliegues medidos con resortes nuevos y con resortes originales fueron comparadas usando un test T de Student para muestras apareadas, con un nivel de significancia establecido en  $p < 0.05$ .

En la Tabla 2 se presentan los datos de la W7 en los 10 deportistas. El promedio de la W7 para el calibre C4 fue de 91.4 mm con resortes nuevos, y de 96.9 mm con resortes originales. La diferencia entre el uso de los dos resortes (5.4 mm) fue estadísticamente significativa ( $t = 9.38, p < 0.001$ ), lo cual fue mayor a lo que podría responsabilizarse por error técnico de medición (ETM). Un ETM de 0.96 mm, indica que cada medición de  $\sum 7$  tiene un error standard de 0.96 mm y, por lo tanto, el error standard de la diferencia

entre las dos series de evaluación es  $\sqrt{2} \times 0.96 = 1.36$  mm. El intervalo de confianza del 95% para un cambio libre de error entre dos series de medición surge de  $[5.4 - (2 \times 1.36)]$  a  $[5.4 + (2 \times 1.36)]$ , es decir de 2.7 a 8.1 mm. Como el rango calculado no incluye el cero, se rechaza la hipótesis nula de que el cambio en la  $\sum 7$  es cero, y se concluye que el cambio medido en la  $\sum 7$  es distinto con el uso de resortes nuevos y originales.

sujeto	Resortes nuevos (mm)	Resortes originales (mm)	Original – nuevo (mm)
S1	95.3	100.6	5.3
S2	110.3	116.6	6.3
S3	61.0	66.7	5.7
S4	65.8	67.2	1.4
S5	99.8	106.1	6.3
S6	88.6	96.9	8.2
S7	100.5	104.5	4.0
S8	103.7	108.9	5.2
S9	81.7	86.4	4.7
S10	107.4	114.0	6.6
Media	91.4	96.8	5.4
ES	5.4	5.7	0.6

**TABLA 2.** Sumatoria de siete pliegues cutáneos (mm), en 10 deportistas mujeres; comparación entre el uso de resortes originales y nuevos, en un juego de calibres Harpenden.

Los resultados de este estudio muestran que la diferencia entre la calibración dinámica en escala ascendente con resortes originales (promedio para separaciones de platillos de 5 - 40 mm = 9.20 gr mm<sup>-2</sup>) y con resortes nuevos (promedio = 10.25 gr.mm<sup>-2</sup>) también se tradujo en diferencias fisiológicas estadísticamente significativas, y prácticamente importantes en la suma de los pliegues. Esto sugiere que la fatiga de los resortes en los calibres Harpenden puede alterar las mediciones de los pliegues, en exceso a las diferencias debidas al error de medición (ETM). Sin embargo, también es posible, ya que nosotros no calibramos los resortes originales C4 cuando los mismos eran nuevos, que los resortes originales y los nuevos tuvieran características diferentes debido a que fueron fabricados aproximadamente con una diferencia de cinco años entre sí. En cualquier caso (fatiga con el tiempo, o diferencia entre resortes), estos resultados resaltan que las diferencias entre resortes pueden trasladarse a diferencias en la suma de los pliegues cutáneos.

Además, estos datos sugieren que las recomendaciones de la escala ascendente estática de Edwards y cols. (1995) podrían ser demasiado indulgentes. Ellos recomiendan que una presión de platillos de 10.0 +/- 2.0 gr.mm<sup>-2</sup> (o 0.098 N.mm<sup>-2</sup> +/- 20 %) es adecuada para obtener resultados reproducibles. La hoja de información que solía venir

con los calibres Harpenden especificaba que los mismos eran diseñados para ejercer una presión constante de 0.098 N.mm<sup>-2</sup> +/- 10 %. Sin embargo, nuestros datos sugieren que una diferencia de 1.0 gr.mm<sup>-2</sup> (0.0098 N. mm<sup>-2</sup>) es excesiva si se pretenden realizar comparaciones válidas entre distintos calibres Harpenden. Por lo tanto, podría ser necesario un rango de calibración dinámica en escala ascendente de 10.0 +/- 0.50 gr.mm<sup>-2</sup> (o 0.098 N. mm<sup>-2</sup> +/- 5 %).

### 3.1.4 Calibración en escala ascendente versus escala descendente

También es importante estudiar las diferencias entre la calibración absoluta en escala ascendente y en escala descendente. Como se observó anteriormente, Edwards y cols. (1955) recomiendan una presión de calibración estática en escala ascendente de 10.0 +/- 2.0 gr.mm<sup>-2</sup>, pero Schmidt y Carter (1990) utilizaron una determinación absoluta en escala descendente estática de la presión de los platillos, y observaron un promedio de 8.25 gr.mm<sup>-2</sup> en diez calibres Harpenden nuevos. Los datos presentados en la Tabla 3 para cuatro calibres dan una presión media en escala ascendente de 10.04 gr.mm<sup>-2</sup> (media de todas las aperturas de platillos), mientras que la cifra equivalente en escala descendente es de 8.14 gr.mm<sup>-2</sup>. Estos datos concuerdan con los de Schmidt y Carter (1990).

Porqué la presión de los platillos en escala ascendente (apertura) es mayor que la presión en escala descendente (cierre), y cuál es la más útil, dado que los calibres son utilizados en realidad para hacer mediciones en el modo descendente? La fuerza aplicada por el operador para abrir los platillos no sólo debe ser suficiente para estirar los resortes, sino que también debe vencer la resistencia de fricción asociada con los resortes, el pivot, y el indicador de medición. Cuando el operador libera las ramas, parte de la energía almacenada en los resortes se perderá para superar las fuerzas de fricción. La energía restante en los resortes generará entonces la fuerza de cierre aplicada a los platillos. Anormalmente, una alta resistencia de fricción provocará la necesidad de una fuerza anormalmente elevada para abrir los platillos. Además, una resistencia de fricción anormalmente

alta producirá una fuerza aplicada anormalmente baja, cuando los platillos se cierran. Por lo tanto, la calibración en escala descendente indica las cualidades de operación de los calibres cuando los mismos son utilizados para medir el grosor de los pliegues, mientras que la calibración en escala ascendente representa una evaluación de las cualidades mecánicas generales de los calibres. Se pueden realizar mayores evaluaciones mecánicas examinando las diferencias entre las mediciones ascendentes y descendentes, las que, de acuerdo a los datos recolectados hasta el presente, están en el orden de 1.5 a 2.0 gr.mm<sup>-2</sup> (0.0147 a 0.0196 N.mm<sup>-2</sup>) para calibres mecánicamente confiables. Por lo tanto, debería realizarse tanto una calibración ascendente como descendente para caracterizar adecuadamente un calibre.

Separación de los platillos (mm)										
			5	10	15	20	25	30	35	40
ID del calibre	Modo de calibración	condición	Presión ante la separación de los brazos (gr.mm <sup>-2</sup> )							
	Ascendente	Resortes nuevos	10.44	10.40	10.26	10.22	10.17	10.18	10.13	10.20
C <sub>4</sub>	Descendente		8.41	8.40	8.41	8.36	8.29	8.24	8.12	8.06
	Ascendente	Resortes nuevos	9.61	9.62	9.61	9.62	9.58	9.58	9.54	9.53
A <sub>2</sub>	Descendente		8.29	8.27	8.21	8.05	7.98	7.95	7.95	7.75
	Ascendente	Resortes nuevos	10.24	10.27	10.32	10.30	10.32	10.21	10.12	10.14
A <sub>3</sub>	Descendente		8.63	8.56	8.49	8.40	8.30	8.20	8.15	8.20
	Ascendente	Resortes nuevos	10.45	10.49	10.45	10.36	10.26	10.18	10.08	10.11
C <sub>1</sub>	Descendente		8.17	8.11	8.02	7.93	7.81	7.70	7.61	7.60

**TABLA 3.** Calibración dinámica en escala ascendente y calibración estática en escala descendente, en varios calibres Harpenden. Los datos fueron recolectados utilizando una célula de carga calibrada.

Usando los datos presentados arriba (Tabla 3), en combinación con los de Schmidt y Carter (1990), así como también perfeccionando las recomendaciones de Edwards y cols. (1955), proponemos los siguientes lineamientos para la calibración de los calibres Harpenden:

- Se deberían realizar calibraciones absolutas, tanto en escala ascendente como descendente, con rangos de separación de platillos entre 5 y 40 mm.
- La presión dinámica media en escala ascendente (es decir, la presión media para el rango de separación de platillos) debería estar en el orden de 10.0 +/- 0.50 gr.mm<sup>-2</sup> (0.098 +/- 0.005 N.mm<sup>-2</sup>).
- La presión estática media en escala descendente debería estar en el rango de 8.25 +/- 0.50 gr.mm<sup>-2</sup> (0.081 +/- 0.005 N.mm<sup>-2</sup>).

- Con cualquier separación de platillos en el rango de 5 a 40 mm, la diferencia entre la presión en escala ascendente y descendente debería ser menor a 2.0 gr.mm<sup>-2</sup> (0.020 N.mm<sup>-2</sup>).

### 3.2 Calibración relativa

#### 3.2.1 Calibración dinámica en escala descendente, con bloques de goma espuma

Con el fin de controlar la calibración de un solo juego de calibres (o de un juego de resortes comprados en el mismo momento) se recomienda el siguiente procedimiento utilizando bloques de goma espuma como una alternativa útil, pero inferior, a la

calibración absoluta de la presión de los platillos con célula de carga.

Si bien el método con bloques de goma espuma es una técnica útil para controlar las características de la escala descendente de los calibres, no es capaz de evaluar las características en la escala ascendente.

Obtener cinco bloques de goma espuma con grosores (en estado sin compresión) de 15.0, 25.0, 35.0, 45.0 y 55.0 mm (cada bloque de 10 por 10 cm). La goma espuma ED200 (Dunlop Flexible Foams, Australia) es semejante a las características de la goma espuma HD40 utilizada por Schmidt y Carter (1990). Es importante controlar las características de la goma espuma ya que si la densidad es demasiado baja o demasiado alta no simulará adecuadamente la comprensibilidad del pliegue cutáneo ni dará valores suficientemente discriminatorios que sean útiles. Se eligieron grosores de los bloques en estado sin compresión para que al usarlos con los calibres lleguen a valores de compresión en el rango de los calibres Harpenden, es decir, de 0 a 40 mm.

Debido al proceso de fabricación, la densidad de la goma espuma con células compactas no es igual en todos los sitios. Además, si se realizan mediciones repetidas en un único sitio dentro de un período corto de tiempo (por ejemplo, cada 20 segundos), la goma espuma tendrá una distorsión menor que provocará que los valores consecutivos disminuyan (por ejemplo, en una goma espuma de 45 mm, la medición nro. 1 = 22.5 mm, la medición nro. 10 = 22.0 mm, la medición nro. 30 = 21.7 mm, y la medición nro. 50 = 21.7 mm). Por lo tanto, para poder obtener datos reproducibles y evitar estos problemas de distorsión, se debería utilizar el siguiente procedimiento:

- Se marca una línea en las dos caras opuestas de cada bloque de goma espuma a 2 cm del borde.
- Se realiza una marca en el punto medio de cada línea.
- Los platillos del calibre son colocados exactamente en los sitios marcados.
- Se sostiene la goma espuma verticalmente, y se aplican los platillos en ángulo recto a la goma espuma (Figura 5).
- Se lee el reloj del calibre, 2 segundos después de la aplicación de la presión total de los platillos.
- Los bloques son medidos en el siguiente orden: 15 mm, 25 mm, 35 mm, 45 mm, y luego 55 mm, cada uno medido una vez. El orden de esta prueba debería repetirse un total de 10 veces, llevando aproximadamente 1 min cada serie de 5 mediciones.
- Se deberían estandarizar las condiciones ambientales bajo las cuales es medida la goma espuma, utilizando un laboratorio con aire acondicionado.

### 3.2.1.1 El « rango de calibración » de los bloques de goma espuma

Utilizar los datos de un único juego de calibre (como el presentado en la Tabla 4) para establecer un rango de calibración, el cual es definido como la media  $\pm 3$  DS a partir de 10 mediciones repetidas en la serie de cinco bloques de goma espuma, con cada bloque medido en el sitio específico marcado. Estadísticamente, esto significa que el 99.7% de las observaciones estarán dentro de este rango de calibración. Cuando cualquier dato futuro de calibración, utilizando los mismos calibres y bloques de goma espuma, caiga fuera del rango de calibración lo más probable es que el calibre necesite un cambio de resortes, reparación y lubricación del “pivot”, o ambas cosas.

Grosor no comprimido (mm)					
	15.0	25.0	35.0	45.0	55.0
ID del calibre	Grosor comprimido (mm)				
C1	2.4 $\pm$ 0.20	5.7 $\pm$ 0.44	11.6 $\pm$ 0.62	21.7 $\pm$ 0.41	30.7 $\pm$ 0.22

**TABLA 4.** Rango de calibración (media  $\pm 3$  DS) de 10 mediciones en cada bloque de goma espuma, para un calibre Harpenden.

### 3.2.2 Discriminando entre resortes originales y nuevos

En un pequeño estudio, se utilizaron cinco calibres Harpenden para investigar el siguiente punto: un calibre completamente nuevo (C1), dos calibres relativamente nuevos (C2 y C3) que habían tenido uso limitado (aproximadamente 800 movimientos de platillos; en donde un movimiento equivale a una medición de pliegue cutáneo en una ocasión), un calibre extensamente utilizado (C4; aproximadamente

30.000 movimientos de platillos en el transcurso de 4 años), y finalmente el calibre C4 con dos resortes nuevos (C5). Los calibres C1 y C4 también fueron utilizados en la calibración absoluta (Sección 3.1) y en la Tabla 1. Se tomaron 10 mediciones repetidas en un juego de bloques de goma espuma ED200 con cada uno de los cinco calibres, en la forma descrita en la Sección 3.2.1.

Los calibres más nuevos, C1 y C5, tendieron a tener desvíos standard mucho más bajos (y, por lo tanto,

variancias mas bajas) que los calibres más antiguos (C2,C3,C4) para cada uno de los bloques de goma espuma (Tabla 5). Esto podría indicar que los calibres más antiguos tienen mayor variabilidad que los nuevos. Las variancias desiguales también podrían confundir los análisis de variancia para mediciones repetidas, los cuales mostraron que hubo una interacción significativa entre el calibre utilizado y el grosor comprimido en los cinco bloques de goma espuma [  $F(16,225) = 43.0, p < 0.001$  ]. Una comparación post – hoc de las medias (Tabla 5) es más útil, usando los dos calibres con resortes nuevos, C5 y C1. No hubo diferencias entre ninguno de los cinco calibres cuando fueron aplicados al bloque de 15 mm, pero cuando se usó el calibre C5 como instrumento de criterio, C4 produjo valores significativamente mayores para los bloques de 25, 35, 45 y 55 mm. No hubo diferencias en ninguno de los cuatro calibres con resortes nuevos o casi nuevos (C1, C2, C3, y C5) para los bloques de 25 y 35 mm, pero los calibres C2 y C3 fueron significativamente diferentes de C5 en el bloque de goma espuma de 55 mm.

Este pequeño estudio demostró que reemplazar los resortes extensamente utilizados en un juego de calibres Harpenden por un par de resortes nuevos produjo grosos comprimidos significativamente menores en cuatro de los cinco bloques. Sin embargo, también es posible, como no calibramos los resortes de C4 cuando eran nuevos, que los resortes utilizados en C4 y C5 hayan tenido características diferentes, ya que fueron fabricados aproximadamente con cinco años de separación. Para verificar que los nuevos resortes fueran similares para los calibres Harpenden, se utilizaron otros tres calibres nuevos o casi nuevos para medir los bloques de goma espuma. Los cuatro mejores calibres C1,C2,C3, y C5 en general produjeron valores que no fueron diferentes entre sí. Este resultado concuerda con los de Schmidt y Carter (1990), quienes también afirmaron que la variabilidad entre los calibres Harpenden nuevos es pequeña. No está claro si los resortes viejos se habían desgastado o si los nuevos tenían características diferentes, pero este estudio verifica que los resultados de la calibración absoluta presentados en la Sección 3.1.3 también pueden ser discriminados utilizando una calibración en escala descendente con bloques de goma espuma.

Grosor no comprimido (mm)					
	15.0	25.0	35.0	45.0	55.0
ID del calibre	Grosor comprimido (mm)				
C1	2.4+/-0.07 (+/-0.20)	5.7+/-0.15 (+/-0.44)	11.6+/-0.21 (+/-0.62)	21.7+/-0.14 (+/-0.41)	30.7+/-0.07 (+/-0.22)
C2	2.5+/-0.05 (+/-0.15)	5.9+/-0.07 (+/-0.20)	11.8+/-0.26 (+/-0.79)	21.8+/-0.22 (+/-0.66)	31.1+/-0.20 <sup>a</sup> (+/-0.60)
C3	2.4+/-0.07 (+/-0.21)	5.6+/-0.08 (+/-0.25)	11.3+/-0.22 (+/-0.66)	21.2+/-0.21 <sup>b</sup> (+/-0.63)	30.1+/-0.20 <sup>ab</sup> (+/-0.60)
C4	2.6+/-0.05 (+/-0.15)	6.8+/-0.15 <sup>ab</sup> (+/-0.45)	13.5+/-0.27 <sup>ab</sup> (+/-0.81)	23.4+/-0.35 <sup>ab</sup> (+/-1.04)	32.6+/-0.29 <sup>ab</sup> (+/-0.87)
C5	2.4+/-0.03 (+/-0.09)	5.7+/-0.07 (+/-0.22)	11.6+/-0.09 (+/-0.28)	21.7+/-0.12 (+/-0.37)	30.7+/-0.12 (+/-0.35)

**TABLA 5.** Grosor comprimido de bloques de goma espuma (media +/- DS), usando 5 juegos de calibres Harpenden. C1 es un juego de calibres nuevo. C2 y C3 son calibres con uso limitado. C4 es un calibre extensamente utilizado. C5 es el mismo calibre C4 al cual se le ha cambiado el par de resortes. Los valores en paréntesis representan 3 DS.

a = diferencia significativa con C5

b = diferencia significativa con C1

### 3.2.3 Interpretación del rango de calibración de los bloques de goma espuma

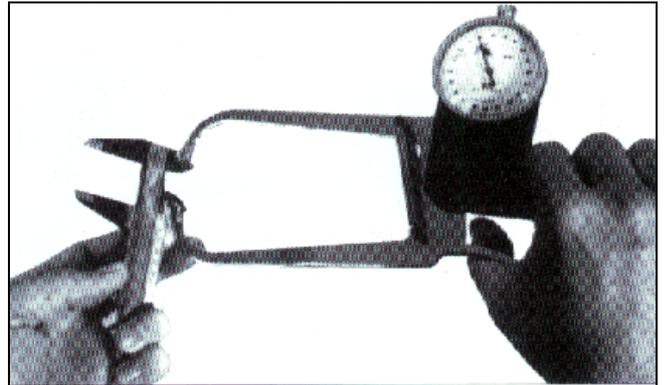
Si se aplica a C5 el criterio del rango de calibración (media  $\pm$  3 DS), tal como se describió en la Sección 3.2.1.1) a los datos con bloques de goma espuma, las mediciones tomadas por C4 caen fuera del rango de calibración en los cinco bloques, mientras que C1, C2, y C3 quedan dentro de dicho rango. Si el rango de calibración se establece utilizando C1 como criterio, C4 queda fuera del rango para todos los bloques, excepto el de 15 mm sin compresión. Sin embargo, C3 también cae fuera de la calibración para los bloques de 45 y 55 mm, pero sólo por 0.1 y 0.2 mm, respectivamente. Esto sugiere que este método para el rango de calibración, para un único calibre, es útil dentro de un laboratorio para indicar cuando los calibres están produciendo datos confiables. Tanto el método de calibración con bloque de goma espuma como la calibración absoluta de los calibres pudieron discriminar entre un calibre con resortes originales y uno con resortes nuevos. Esta diferencia, que se discute en la Sección 3.1.3, fue suficiente para traducirse en una diferencia significativa en la sumatoria de pliegues cutáneos (L7). Sin embargo, el método con bloques de goma espuma debería utilizarse como un anexo adjunto más que en reemplazo de la calibración absoluta estática en escala descendente.

Independientemente del uso de calibración absoluta o relativa en escala descendente, el desgaste con el tiempo, o las diferencias entre resortes, pueden traducirse en diferencias en las sumatorias de los pliegues y, por lo tanto, es aconsejable que el antropometrista compre varios juegos de resortes para calibres en un mismo momento de forma que los mismos provengan de un mismo lote de fabricación (y, por lo tanto, tengan características mecánicas similares).

## 4. CALIBRACION DE LA SEPARACION DE LOS PLATILLOS

### 4.1 Calibres Vernier

El método más simple de calibrar la separación entre los platillos es utilizar las pequeñas ramas de los calibres Vernier, utilizados por ingenieros, colocados en el centro exacto de las caras de los platillos (Figura 7). Sin embargo, localizar y sostener los calibres Vernier en el centro de las caras de los platillos es relativamente impreciso.



*FIGURA 7. Un ingeniero utilizando el calibre Vernier para la calibración de la separación entre platillos.*

### 4.2 Varilla de calibración - teoría

Un método más exacto para chequear la separación entre los platillos es insertar un espaciador delgado de diámetro conocido entre los platillos y registrar a lectura del reloj. Sin embargo, con este método existen numerosos posibles peligros. Debido a que las caras de los platillos cambian el ángulo y pierden paralelismo a medida que los platos se van abriendo, la lectura del reloj será mayor si el espaciador es colocado cerca del borde interno del platillo que si se coloca cerca del borde externo del mismo (Figura 8). El mejor espaciador a usar es aquel construido con una varilla de metal sólido de aproximadamente 1 cm de diámetro (Figura 9).

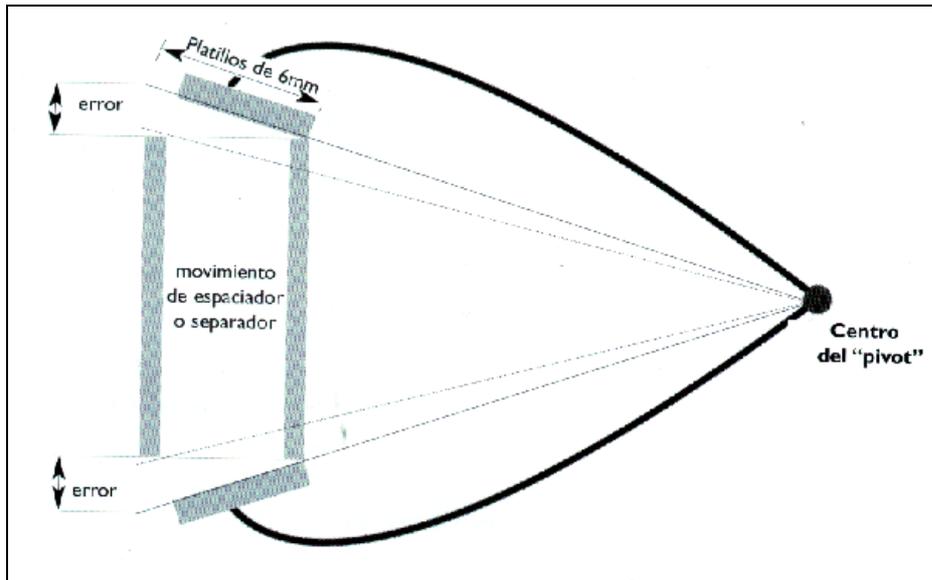


FIGURA 8. Diagrama que muestra los errores en la calibración de la separación con espaciadores finos

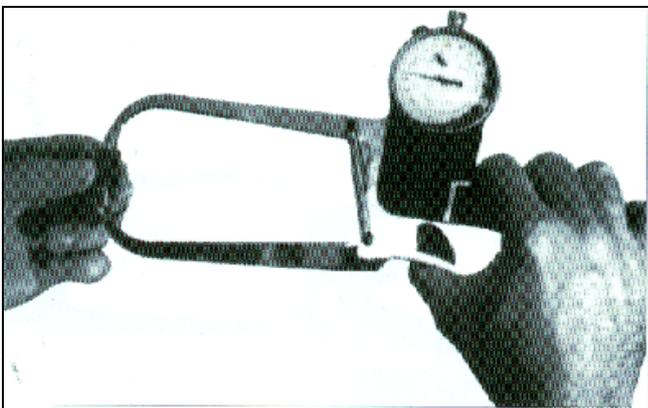


FIGURA 9. Un ingeniero utilizando varillas de calibración para calibrar la separación entre platillos

Una varilla de esta dimensión resuelve el problema del ángulo de los platillos suponiendo que el borde

interno de las caras de los mismos es ubicado en los extremos de una varilla calibrada. Debido a que la distancia desde el centro del pivot del calibre Harpenden hasta el centro de la superficie de los platillos es de 152.4 mm, esta longitud puede utilizarse como la hipotenusa de un triángulo rectángulo originando el ángulo A desde el centro del «pivot» (Figura 10). Este mismo ángulo (A) es sostenido desde el borde interno de la superficie del platillo con su ángulo complementario partiendo del borde externo. La corrección a ser aplicada a la lectura del reloj de la separación del calibre para una varilla metálica es el doble del seno del ángulo A utilizando una hipotenusa de 3 mm (la mitad del ancho del platillo). Esta corrección se resta a la lectura del reloj registrada para la longitud particular de la varilla de calibración.

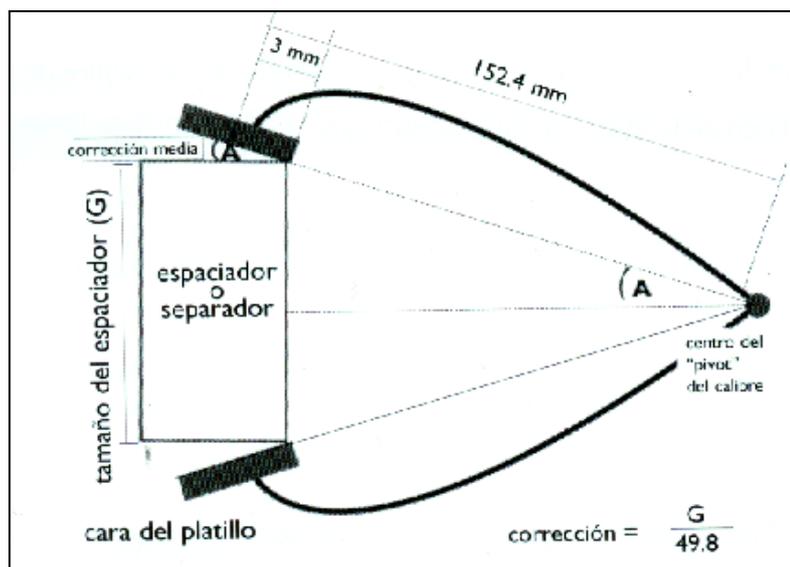


FIGURA 10. Diagrama que muestra la derivación del factor de corrección a ser utilizado, cuando se calibra la separación de los platillos utilizando varillas de calibración.

$$\begin{aligned} \text{seno } A &= \frac{\text{mitad de la longitud del espaciador (G)}}{\text{largo del brazo - mitad del largo de la Del calibre cara del platillo}} \\ &= \frac{G/2}{152.4 - 3} \\ &= \frac{G}{298.8} \end{aligned}$$

Corrección = mitad del ancho de la cara del platillo x seno A x 2 mm

$$= \frac{3 \times G \times 2}{298.8} = \frac{G}{49.8} \text{ mm}$$

Por lo tanto, la separación real de los platillos = G + G/49.8, lo cual debería estar indicado en el reloj. La Tabla 6 muestra el tamaño de la corrección para aperturas de platillos en el rango de 5 a 40

largo de la varilla de calibración (mm)	corrección (mm)
5	-0.1
10	-0.2
15	-0.3
20	-0.4
25	-0.5
30	-0.6
35	-0.7
40	-0.8

TABLA 6. Correcciones calculadas para las aperturas de los platillos de los calibres Harpenden

#### 4.2.1 Varillas de calibración - Procedimiento

A continuación, se describe el procedimiento para calibrar las separaciones entre los platillos de un calibre Harpenden, en intervalos de a 5 mm, en el rango de 5 a 40 mm. Las varillas de calibración fueron hechas a partir de secciones trabajadas en forma precisa de una vara de metal de 10 mm. El procedimiento es el siguiente:

- (1) Dejar que los platillos del calibre se cierren y colocar el reloj en cero.
- (2) Colocar la varilla calibrada de 5 mm entre las caras del platillo y registrar la lectura del reloj. Observar que el borde interno de las caras de los platillos esté apoyando en la varilla.
- (3) Sacar la varilla calibrada y controlar que la aguja del reloj haya vuelto a cero.
- (4) Repetir los pasos (2) y (3) dos veces más.
- (5) Repetir los pasos (2), (3), y (4) utilizando varillas calibradas de 10, 15, 20, 25, 30, 35, y 40 mm de largo.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de la calibración de siete calibres Harpenden. Estos

resultados muestran que los tres instrumentos más viejos (# 1, 2, y 3 - aproximadamente de 20 años) estuvieron dentro de 0.1 mm de las mediciones con la varilla calibrada. Este error está dentro del error del procedimiento con la varilla de calibración porque el reloj de los calibres Harpenden sólo puede leerse con una precisión de 0.1 mm. El mayor error medido fue de 0.4 mm registrado para el calibre # 7 que tenía 5 años de uso. Los resultados para los tres instrumentos más nuevos (# 4, 5, y 6) estuvieron dentro de los 0.2 mm de los standards de calibración. El error levemente mayor podría estar dado por las diferencias en el diseño de la leva y el émbolo de los nuevos instrumentos, en comparación con los de hace 20 años atrás. El error a partir de las varillas de calibración standard indica el grado de uso o daño del calibre, lo cual probablemente esté relacionado con el pivot o la leva. La leva está ubicada sólo a 15 mm por detrás del pivot (mientras que las ramas de los platillos tienen 152.4 mm de largo) y, por lo tanto, tiene una desventaja mecánica de 10 a 1 con los platillos.

Es decir, cualquier uso en la superficie de la leva se reflejará en los platillos donde aparecerá 10 veces mayor. Por lo tanto, un error de 0.4 mm en la

separación de los platillos podría ser el resultado de un desgaste en la leva de 0.04 mm.

Dadas las limitaciones en la técnica de medición de los pliegues cutáneos, los errores en la separación de los platillos son bastante pequeños. Un error de 0.4 mm a una separación de platillos de 40 mm constituye un error del uno por ciento, lo cual es mucho menos

que el error de medición obtenido con la técnica. Sin embargo, la medición regular de la separación entre platillos es esencial para asegurar que la superficie de la leva no se haya dañado o contaminado con pequeñas piezas de sustancias extrañas que podrían producir un error aún mayor

Longitud de la varilla de calibración (mm)								
	5	10	15	20	25	30	35	40
ID del calibre	Separación calculada entre las caras de los platillos ( $\text{gr}\cdot\text{mm}^{-2}$ )							
#1	5.1	10.2	15.1	20.2	25.2	30.1	35.1	40.0
#2	4.9	10.0	15.1	20.1	25.0	29.9	34.9	39.8
#3	5.0	10.1	15.1	20.1	25.1	30.0	35.0	39.9
#4	4.9	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	35.0	40.0
#5	4.9	10.0	14.9	20.0	24.9	30.0	35.1	40.0
#6	4.9	9.9	14.9	20.0	24.9	29.9	34.9	39.9
#7	4.9	10.0	15.0	20.1	25.1	30.1	35.3	40.4

**TABLA 7.** Cálculo de las separaciones entre las caras de los platillos del calibre Harpenden (es decir, corregido para el error asociado con las caras no paralelas de los platillos, a medida que aumenta la separación)

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los bloques de goma espuma pueden aportar un método económico y conveniente para controlar longitudinalmente la confiabilidad de la presión de los platillos de un calibre Harpenden e indicar cuándo los resortes necesitan ser cambiados. Por el contrario, la comparación de datos recolectados entre los laboratorios requiere que se lleve a cabo una calibración absoluta de la presión de los platillos. Sin embargo, los datos presentados en este capítulo sugieren que las recomendaciones comúnmente aceptadas de Edwards y cols. (1955) de una presión estática en escala ascendente de  $10.0 \pm 2.0 \text{ gr}\cdot\text{mm}^{-2}$ , y aún las de British Indicators Ltd. ( $10.0 \pm 1.0 \text{ gr}\cdot\text{mm}^{-2}$ ), son demasiado indulgentes. Si se quieren realizar comparaciones válidas entre distintos calibres Harpenden para una sumatoria de pliegues cutáneos, se podría necesitar un rango de calibración de  $10.0 \pm 0.5 \text{ gr}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Finalmente, se necesitan más investigaciones para identificar las características dinámicas absolutas y descendentes de los calibres Harpenden.

### Recomendaciones

(i) El «pivot» del calibre debería controlarse cada 12 meses para asegurarse de que esté bien

engrasado y funcionando suavemente, sin que el perno del «pivot» esté excesivamente ajustado.

(ii) Lo ideal es llevar a cabo una calibración absoluta tanto en escala ascendente como descendente cada 12 meses (o silos calibres fueron accidentalmente dañados), con separaciones de los platillos en el rango de 5 a 40 mm. La calibración en escala ascendente representa una evaluación de las cualidades mecánicas totales de los calibres, mientras que la calibración en escala descendente indica las cualidades del calibre cuando es utilizado para medir el grosor de los pliegues cutáneos. Para caracterizar en forma adecuada a un calibre se debería realizar tanto calibración ascendente como descendente.

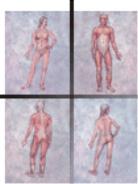
- La presión dinámica media con escala ascendente (es decir, la presión media para el rango de separaciones de platillos) debería estar en el rango de los  $10.0 \pm 0.50 \text{ gr}\cdot\text{mm}^{-2}$  ( $0.098 \pm 0.005 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ).
- La presión estática media en escala descendente debería estar en el orden de los  $8.25 \pm 0.50 \text{ gr}\cdot\text{mm}^{-2}$  ( $0.081 \pm 0.005 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ).
- A cualquier separación de platillos, en el rango entre 5 y 40 mm, la diferencia entre la presión en escala ascendente y descendente

- debería ser menor a  $2.0 \text{ gr.mm}^{-2}$  ( $0.020 \text{ N.mm}^{-2}$ ).
- (iii) Como alternativa conveniente, se puede utilizar un rango de calibración usando bloques de goma espuma para controlar la presión dinámica en escala descendente dentro de un laboratorio. Este método podría ser más oportuno para chequear los calibres más frecuentemente que la calibración absoluta; por ejemplo, para controlar los calibres que se han caído accidentalmente o que se le han prestado a un colega.
- (iv) Los antropometristas deberían saber que los resortes de los calibres Harpenden se podrían desgastar con el tiempo o podrían variar sus características mecánicas por ser de distintos lotes de fabricación. Las diferencias pueden detectarse con calibración absoluta o con calibración con bloques de goma espuma. Por consiguiente, nosotros aconsejamos que se adquieran 2 o 3 juegos de resortes de reemplazo con cada calibre nuevo, y que el Harpenden sea calibrado con todos los juegos de resortes cuando es nuevo, para asegurarse que los mismos tengan todas similares características de calibración.
- (v) Al menos cada 6 meses, se debería controlar la precisión de la separación entre los platillos del calibre, utilizando varillas de calibración que varíen de 5 a 40 mm.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Behnke, A.R., & Wilmore, J.H. (1984). **Evaluation and regulation of body build and composition.** Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Carter, J.E.L., & Schmidt, R.K. (1990). A simple method for calibrating skinfold calipers. Proceedings of the **Commonwealth and International Conference on Physical Education, Sport, Health, Dance, Recreation and Leisure.** Volume 3 Part 1, pp.49-53. Auckland~ New Zealand.
- Edwards, D.A.W, Hammond, W.H., Healy, J.M., Tanner, J.M. & Whitehouse, R.H. (1955). Design and accuracy of calipers for measuring subcutaneous US tissue thickness. **British journal of Nutrition, 9,** 133-143.
- Gruber, J.J., Pollock, M.L., Graves, J.E., Colvin, A.B., & Braith, R.W. (1990). Comparison of Harpenden and Lange calipers in predicting body composition. **Research Quarterly, 61,** 184-190.
- Keys, A. (1956). Recommendations concerning body measurements for the characterization of nutritional status. **Human Biology, 28,** 111-123.
- Lohman, T.G. (1981). Skinfolde and body density and their relationship to body fatness: a review. **Human Biology, 53,** 181-225.
- Schmidt, P.K., & Carter, J.E.L. (1990). Static and dynamic differences among five types of skinfold calipers. **Human Biology, 62,** 369-388.
- Zillikens, M.C., & Conway, J.M. (1990). Anthropometry in blacks applicability of generalised skinfold equations and differences in fat patterning between blacks and whites. **American Journal of Clinical Nutrition, 52,** 45-51.

# CAPÍTULO 5



## SISTEMAS DE SIMILITUD EN ANTROPOMETRIA

*Tim Olds, Kevin Norton, Sen Van Ly, y Liz Lowe*

### 1. INTRODUCCION

A menudo los antropometristas quieren comparar el tamaño de dos segmentos corporales (tales como la parte superior del brazo y la parte inferior), o comparar el tamaño de una parte corporal con alguna medición más general del tamaño del cuerpo (como el peso o la estatura), o relacionar alguna cualidad (como la fuerza) con el tamaño total del cuerpo. El estudio de tamaños comparativos es denominado **alometría**. Nosotros estamos interesados en estas relaciones, no sólo dentro de un individuo, sino en los seres humanos y animales en general. Estas relaciones no sólo son importantes en la teoría sino que tienen muchas implicancias prácticas.

### 2. MODELOS TEORICOS PARA RELACIONAR LAS VARIABLES ANTROPOMETRICAS

De alguna manera, queremos relacionar una variable independiente  $x$ , que está relacionada con el tamaño o con la forma (ejemplos de variables  $x$  son el peso, la estatura, o la superficie corporal), con una variable dependiente  $y$ , que también podría estar relacionada con el tamaño o la forma, o podría ser una variable funcional (ejemplos de variable  $y$  podrían ser los pliegues cutáneos, la tasa metabólica basal, o la velocidad de locomoción). Cuando determinamos la relación entre dos variables cualquiera, nos enfrentamos con la tarea de especificar un modelo teórico. Nuestra opción de qué modelo utilizar dependerá de condiciones teóricas y/o de procedimientos estadísticos que nos dicen cuan bien  $x$  predice  $y$ . No existe un procedimiento mecánico para decidir qué modelo se adecua mejor, y como el número posible de modelos es infinito, no podemos considerar todos ellos. En antropometría, han sido comúnmente utilizados tres modelos - modelos de proporción o cocientes, modelos de regresión, y ecuación alométrica general. Se discutirán cada uno de estos modelos.

### 2.1 Modelos de proporción o cociente

El **modelo simple de proporción** es de la forma

$$y = kx$$

donde  $k$  es alguna constante. Por ejemplo, se considera que las longitudes de las extremidades son más o menos fracciones constantes de la estatura corporal (dentro de sub-poblaciones étnicas, y una vez que ha finalizado el crecimiento óseo).

### 2.2 Modelos de regresión

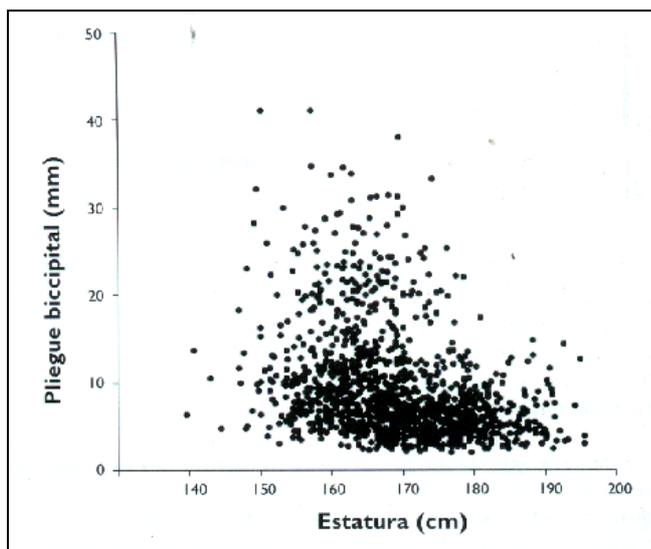
Un modelo levemente más complejo y más general es el **modelo de regresión** (lineal), de la forma

$$y = b x + a$$

donde  $a$  y  $b$  son constantes. Por ejemplo, Tanner (1949) utiliza la ecuación

$$VS = 0.32 \text{ peso} + 79.5$$

para describir la relación entre volumen sistólico (VS, ml) y peso corporal (peso, kg). Otro ejemplo en donde el modelo de regresión podría ser más apropiado que el modelo de proporción es el nivel de grosor del pliegue cutáneo con la estatura. El pliegue cutáneo incluye una doble capa de piel, cuyo grosor es más o menos independiente de la estatura. Esto significaría que hay un cierto valor mínimo, un «piso», por debajo del cual no puede encontrarse el pliegue (Figura 1). En consecuencia, un gráfico del grosor del pliegue cutáneo, en función de la estatura, debería mostrar una intercepción positiva. Esto es claramente importante cuando queremos comparar el grosor de los pliegues cutáneos de personas de distintos tamaños corporales (ver Sección 4.1.2, más adelante).

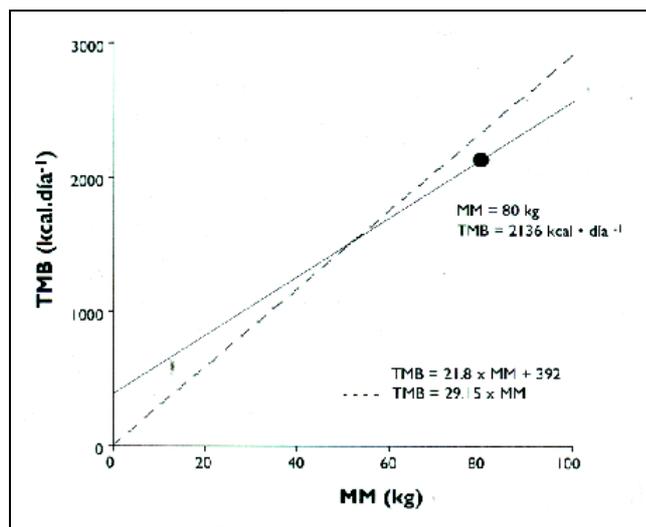


**FIGURA 1.** Gráfico de dispersión del grosor del pliegue cutáneo del bíceps (mm), en función de la estatura corporal (cm), en un grupo de sujetos que participaron del estudio con adultos australianos, llevado a cabo por el Departamento de Arte, Deporte, Medio Ambiente, y Territorios (1992). Observar que el pliegue bicipital parece tener un «piso» (cerca de 2 mm), independientemente de la estatura del individuo.

Un buen ejemplo de la diferencia entre los modelos de proporción y de regresión fue brindado por Bogardus y Ravussin (1989). Se sabe que uno de los determinantes principales de la tasa metabólica basal (TMB) es la masa libre de grasa (MLG). Estos autores señalan que cuando se utiliza un modelo de proporción (Figura 2), personas con una gran masa magra absoluta (como ocurre con los obesos), a menudo parecen tener TMB por debajo de lo «normal». Nosotros podríamos interpretar que esto significa que los individuos obesos tienen un defecto metabólico que les provoca utilizar menos energía en reposo, y desde allí especular que este defecto podría haber causado su obesidad (o alternativamente, que la obesidad lleva a una menor TMB). Sin embargo, cuando se utiliza un modelo de regresión, los individuos con una mayor MM caerán cerca del valor predictivo (Figura 2). Por lo tanto, la elección de un modelo de proporción o uno de regresión afectará nuestros diagnósticos y la interpretación de los datos.

### 2.3 La ecuación alométrica general

Un tercer modelo, que es aún más general, es el **modelo de potencia, o ecuación alométrica general**. En la década de 1930, Huxley (1932) y Teissier (1931) desarrollaron un método simple e ingenioso para describir el tamaño relativo de dos partes corporales (proporcionalidad). Ellos sugirieron que las relaciones proporcionales podrían describirse mejor a través de una simple ecuación versátil:



**FIGURA 2.** Un individuo con una masa magra (MM) de 80 kg tiene una tasa metabólica basal (TMB) de 2.136 kcal.día<sup>-1</sup>. Mientras que este valor cae directamente en la línea de regresión (línea sólida) con la ecuación  $TMB = 21.8 \times MM + 392$ , cae muy por debajo de la línea de proporción con la ecuación  $TMB = 29.15 \times MM$  (adaptado de Bogardus y Ravussin, 1989).

$$y = bx^a$$

o, calculando logaritmos de ambos lados,

$$\ln y = \ln b + a \ln x$$

donde  $x$  es el tamaño de alguna parte del cuerpo o una medición general del tamaño corporal (normalmente la estatura o el peso); y es el tamaño de otra parte del cuerpo o función corporal. Esta ecuación es conocida como ecuación alométrica general.

Cuando  $a = 0$ ,  $y$  es igual a  $b$ . Este sería el caso, por ejemplo, cuando el tamaño de algún segmento corporal no depende del tamaño del animal. Por ejemplo, el tamaño de los glóbulos rojos (GR) es el mismo en todos los mamíferos, independientemente de cuán grande sea el animal. Los GR varían en tamaño entre 4 y 9.4  $\mu\text{m}$  de diámetro para pesos corporales en un rango entre 2 gr y más de 4.000 kg. En otras palabras, el tamaño de los GR es independiente del tamaño corporal. De hecho, los ratones y los caballos tienen GR de similar tamaño (Weibel, 1984).

Cuando  $a = 1$ , el tamaño de las dos partes corporales (o el tamaño del segmento corporal y de todo el cuerpo) tiene una relación lineal. Por ejemplo, la longitud de pierna normalmente aumenta en forma paralela al incremento de la estatura corporal. Otro ejemplo es el volumen sanguíneo en los mamíferos, el cual aumenta en proporción con la masa corporal (es decir, en proporción con el cubo de la altura). Cuanto más grande es el animal, más sangre tendrá. Si

graficáramos el volumen sanguíneo (en el eje de las y) en función del peso corporal (en el eje de las x), la gráfica sería una línea recta.

Cuando  $a = 2$ , el tamaño del segmento corporal aumenta con el cuadrado del tamaño corporal. La superficie transversal del músculo y la superficie corporal son ejemplos de características corporales que aumentan aproximadamente con el cuadrado de la estatura.

Cuando  $a = 3$ , la característica corporal aumenta con el cubo del tamaño corporal. Por ejemplo, es de esperar que el volumen aumente aproximadamente con el cubo de la altura.

Cuando  $a = -1$ , y disminuye inversamente a medida que  $x$  aumenta. Se ha sugerido (Ford, 1984) que la aceleración disminuye a medida que la altura (longitud de las extremidades) aumenta. Por ejemplo, la altura promedio de los velocistas aumenta a medida que aumenta la distancia de las carreras de 50 m a 400 m. Sobre las distancias más largas, la aceleración es mucho menos importante que en los «sprints» o carreras cortas.

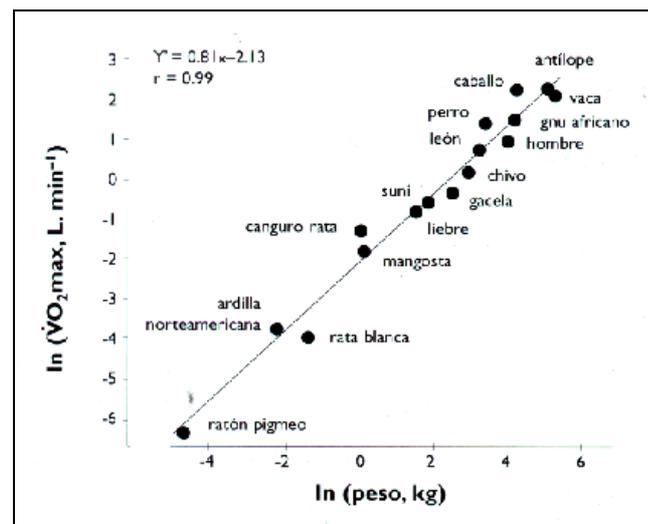
La ecuación alométrica general ha probado ser útil porque es flexible (variando  $a$  y  $b$  podemos describir muchas relaciones diferentes), y porque es fácil de manipular matemáticamente. La ecuación no ha estado exenta de críticas a través de los años (Tanner, 1949; Smith, 1980). Sin embargo, ha probado ser una poderosa herramienta analítica y conceptual.

#### 2.4. Por que son importantes los modelos de relación?

El uso poco discerniente de valores fisiológicos absolutos, o de valores expresados por unidad de peso corporal, podría llevar a correlaciones espúreas y a relaciones teóricas propuestas que son fisiológicamente insostenibles y lógicamente incorrectas (Katch, 1973). Las normas que son utilizadas para diagnosticar patologías, a menudo, están basadas en relaciones alométricas (Tanner, 1949), y una inadecuada alometría podría llevar a los individuos a ser clasificados como patológicos cuando en realidad no lo son.

Se han observado fuertes relaciones alométricas entre el peso corporal y distintas variables funcionales. En particular, se ha dirigido la atención hacia las variables relacionadas con el transporte de oxígeno. Una de las relaciones más fuertes es la “Regla de

Kleiber” que establece que la tasa metabólica es proporcional al peso corporal elevado a la potencia 0.75. Se ha observado que esto es cierto, tanto para la tasa metabólica en reposo como la tasa metabólica máxima, en un rango muy amplio de animales. Los gráficos que «dibujan» la tasa metabólica vs. el peso corporal en una escala log-log muestran que casi todos los puntos caen cerca de una línea de mejor ajuste con una pendiente no significativamente diferente de 0.75 (estos gráficos son llamados curvas «ratón a elefante»; Figura 3).



**FIGURA 3.** Regresión de  $\ln(\text{VO}_2 \text{ max, l. min}^{-1})$  sobre el  $\ln$  (peso corporal, kg), en distintos mamíferos (de Weibel, 1984, p.39). La pendiente de la línea de regresión (0.81) es el exponente estimado ( $a$ ) de la ecuación alométrica general.

Otra relación interesante es la asociación entre fuerza y peso corporal. En 1956, Lietzke analizó las performances de los récords mundiales en distintas categorías de levantamiento de pesas. Observó que el peso levantado variaba con el peso corporal del levantador, elevado a una potencia de 0.67. También es de esperar que la superficie transversal del músculo aumente con el peso, elevado a una potencia de 0.67 (ver abajo). Debido a que la fuerza que un músculo puede ejercer es proporcional al número de puentes cruzados activos, que depende de la superficie transversal del músculo, los resultados de Lietzke reflejan la relación esperada.

Un uso fascinante de la ecuación alométrica general fue el análisis de Jerison (1973), del tamaño del cerebro en los animales. El tamaño absoluto del cerebro podría no ser el mejor índice de la inteligencia. Los elefantes, por ejemplo, tienen cerebros más grandes que los seres humanos. Jerison calculó el logaritmo de la masa del cerebro en distintos animales (en animales muertos, el autor estimó la masa cerebral a partir del tamaño de la

cavidad del cráneo), e hizo una regresión contra el logaritmo del peso corporal. Calculó una regresión separada para cada grupo principal de animales (por ej., mamíferos, peces, aves). A partir de estas regresiones, calculó un «coeficiente de encefalización» (CE), el cual era el cociente entre la masa cerebral real y la masa cerebral estimada a partir de la regresión específica para el grupo. Un CE de 1.0 indicaría que el tamaño relativo del cerebro del animal era de un valor medio (es decir, exactamente como se esperaba). CE más elevados indicaban un «hiper crecimiento» relativo del cerebro. El hipopótamo tiene un CE de 0.3, la ardilla de 1.5, los primates en general de 2.1, mientras que el «Homo sapiens» tiene un CE de 7.6, indicando un salto cuántico en el desarrollo del cerebro. Los delfines y las marsopas tienen un score tan elevado como los seres humanos, mientras que las anguilas, los avestruces, y los lagartos pueden ser considerados como los «bobos» del reino animal.

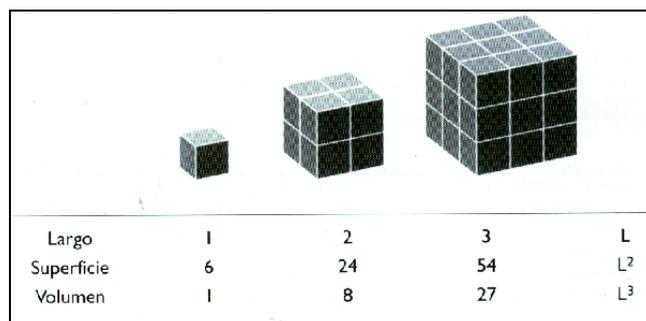
### 3. TIPOS DE SISTEMAS DE SIMILITUD

#### 3.1. Similitud geométrica

Uno de los puntos sorprendentes de los seres humanos es que todos tienen básicamente la misma forma. Los enanos son versiones reconociblemente reducidas de las personas de estatura normal, y los gigantes son versiones agrandadas. Esta similitud en las formas hace mucho más simple la antropometría comparativa.

Por supuesto que hay excepciones a la regla. Los niños no son precisamente versiones en escala reducida de los adultos, ni los enanos acondroplásticos, exactamente versiones disminuidas de las personas de estatura normal. Sus cabezas son relativamente más grandes, por ejemplo. Sin embargo, si ignoramos estas sutilezas, podemos hacer comparaciones entre individuos de diferentes tamaños.

Resulta que para un gran número de características corporales, los seres humanos de diferentes tamaños son como cubos de distintos tamaños (Figura 4). Si el largo ( $L$ ) de la cara de un cubo se duplica, su superficie ( $L^2$ ) se cuadruplica, y su volumen ( $L^3$ ) aumenta ocho veces. De manera similar, las longitudes, perímetros, y diámetros de los seres humanos, por lo general, aumentan linealmente con la altura, las superficies aumentan con el cuadrado de la altura, y las masas-volumenes aumentan con el cubo de la altura.



**FIGURA 4.** Ilustración del principio de similitud geométrica. La superficie aumenta proporcionalmente con el cuadrado de la longitud, y el volumen se incrementa con el cubo de la longitud.

Este proceso no puede seguir indefinidamente. Desde el punto de vista de la ingeniería, las máquinas (incluyendo los animales) deben cambiar la forma mientras crecen, si quieren seguir siendo funcionales. Galileo especuló sobre cuán grandes podían ser los animales de tierra. Fue él quien hizo el razonamiento de que “cómo la fuerza de los huesos y músculos aumenta con la superficie transversal ( $L^2$ ), y la masa corporal de los animales aumenta con el volumen ( $L^3$ ), eventualmente se alcanzará un punto en el cual los huesos y los músculos no puedan soportar más el gran peso de los animales”. Como el animal terrestre más grande que haya existido, el *Argentinosaurus*, puede haber pesado 100 toneladas o más, es poco probable que este problema particular surja con los seres humanos. Además, la masa ósea aumenta a una tasa relativamente mayor que el peso corporal. Esto representa una respuesta estructural a las demandas funcionales lo cual “rompe la regla alométrica”.

Existe un interesante paralelismo entre las relaciones alométricas en los animales, y los cambios alométricos correspondientes en los objetos hechos por los hombres. McMahon y Bonner (1983) han observado que los clavos de acero, por ejemplo, muestran una relación sistemática entre el largo y el diámetro. Esta relación no ha sido planeada por los fabricantes de los clavos, sino que ha evolucionado, quizás por ensayo y error, a lo largo de varios miles de años. La naturaleza de esta relación podría predecirse a partir de la forma en que los objetos cilíndricos (clavos o huesos) se tuercen o se comban bajo las fuerzas de compresión.

#### 3.2 Similitud elástica

La similitud geométrica no ha sido el único sistema de similitud que ha sido propuesto. Thomas McMahon (1983) ha propuesto un sistema de similitud elástica. Está basado en la premisa razonable que el tamaño y la forma de los animales están determinados por las

fuerzas a las que están sometidos. Las principales fuerzas a las cuales están sometidos los grandes animales son la inercia y la gravedad. McMahon concluyó que las longitudes de las extremidades y de los huesos de los animales, medidas en la dirección de las fuerzas musculares, se incrementan a una tasa relativamente más lenta que los diámetros de dichas extremidades o huesos (medidos perpendicular a la fuerza muscular). Específicamente, el autor sugiere

que los diámetros óseos aumentan proporcionalmente con respecto a las longitudes, elevado a una potencia de 1.5. Su análisis está bien respaldado por la evidencia empírica. En la Tabla 1 se presentan los contrastes entre los sistemas de similitud geométrica y elástica.

Dimensión	Similitud geométrica	Similitud elástica
Alturas	Masa <sup>0.33</sup> o altura <sup>1</sup>	Masa <sup>0.25</sup> o altura <sup>1</sup>
Diámetros	Masa <sup>0.33</sup> o altura <sup>1</sup>	Masa <sup>0.38</sup> o altura <sup>1.5</sup>
Perímetros	Masa <sup>0.33</sup> o altura <sup>1</sup>	Masa <sup>0.38</sup> o altura <sup>1.5</sup>
Áreas Transversales	Masa <sup>0.67</sup> o altura <sup>2</sup>	Masa <sup>0.75</sup> o altura <sup>3</sup>
Superficies	Masa <sup>0.67</sup> o altura <sup>2</sup>	Masa <sup>0.63</sup> o altura <sup>2.5</sup>
Volúmenes	Masa <sup>1</sup> o altura <sup>3</sup>	Masa <sup>1</sup> o altura <sup>4</sup>

**TABLA 1.** Relaciones entre la altura y el peso, y distintas dimensiones antropométricas, estimadas por sistemas de similitud geométrica y elástica.

#### 4. APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE SIMILITUD EN ANTROPOMETRIA

Los sistemas de similitud son modelos de realidad. Describen los valores del tamaño real sólo en la medida en que las suposiciones fundamentales o axiomas subyacentes a los modelos se aplican al mundo real. Tanto el sistema de similitud geométrica como el de similitud elástica son interesantes porque las presunciones parecen aplicarse al mundo real en un amplio rango de variables de tamaño.

Sin embargo, existen muchos casos en los cuales el mundo real no está de acuerdo con las expectativas de estos sistemas de similitud. Claramente, sistemas de similitud que están en competencia no pueden «todos» ser siempre verdaderos. Por ejemplo, el sistema de similitud geométrica predice que el peso será proporcional al cubo de la altura. McMahon y Bonner (1983) reportan que las tablas de seguro de vida muestran que el exponente real es 2.9. Ross, Grand, Marshall, y Martin (1982) reportan que el exponente fue de 2.8 en un grupo de adolescentes de Saskatchewan. De cualquier manera, partir de las relaciones esperadas, a menudo, es tan interesante como la adherencia estricta al modelo. Cuando las variables de tamaño no siguen los patrones sugeridos por los modelos, a menudo es muy útil preguntarse a

uno mismo por qué. Esto puede llevar a mayores oportunidades de investigación.

##### 4.1. Ajustando las variables antropométricas

Para poder realizar comparaciones inter-individuales y comparaciones intra-individuales a través de los períodos de crecimiento, es útil poder hacer una escala de las variables antropométricas a una estatura común. Imaginemos dos individuos. Uno mide 180 cm y tiene un pliegue tricéptico de 15 mm. Otro mide 160 cm y tiene un pliegue tricéptico de 12 mm. Es razonable comparar el valor absoluto de los pliegues? No sería de esperar que el individuo más grande tenga pliegues más grandes? Para resolver este problema, regulamos ambas mediciones a una altura común (por razones históricas, las variables son equiparadas a una altura común de 170.18 cm o 57"). Debemos asumir un sistema de similitud. Por lo general, se utiliza la similitud geométrica, aunque está claro que se podrían utilizar otros sistemas de similitud. En los sistemas de similitud geométrica, los pliegues serían proporcionales a la altura. Por lo tanto «encogemos» el individuo más alto a la estatura «basal» (170.18 cm). Ahora, su pliegue cutáneo corregido es 15 x 170.18/180, o sea 14.2 mm. De manera similar, «agrandamos» al individuo más bajo hasta la altura de base. El pliegue corregido será 12 x 170.18/160, o sea 12.8 mm.

Operaciones similares pueden realizarse con los perímetros, los diámetros, las longitudes, las masas, los volúmenes, las superficies, y las áreas transversales. Imaginemos que el individuo de 180 cm tiene una masa grasa de 10 kg, mientras que la persona baja tiene una masa grasa de 7.5 kg. Para reequilibrar estas masas, multiplicamos por  $(170.18/180)^3$  para el individuo más alto, y  $(170.18/160)^3$  para el individuo más bajo (se utiliza el exponente 3 porque la similitud geométrica sostiene que las masas son proporcionales al cubo de la altura). Los valores resultantes son 8.5 kg para el individuo más alto y 9.0 kg para el más bajo. El procedimiento general de balanceo es el siguiente:

- Determinar un score bruto (V) para el individuo.
- Corregir V para la altura, para obtener  $V_{adj}$ .  $V_{adj}$  se obtiene multiplicando V por  $(170.18/h)^d$ , donde h es la altura del individuo, y d es el exponente adecuado para el sistema de similitud que se utiliza. Para la similitud geométrica,  $d = 1$  para los perímetros, pliegues, longitudes, y diámetros;  $d = 2$  para las superficies y áreas transversales;  $d = 3$  para las masas y los volúmenes.

#### 4.1.1 La escala O (O-Scale System)

La Escala-O (Ross & Ward, 1985) es un sistema de ajuste utilizando similitud geométrica, el cual llega a estimaciones de la adiposidad (en base a los pliegues cutáneos) y del peso proporcional (en base al peso). Comparando los “ratings” de adiposidad y peso proporcional, se pueden realizar juicios sobre la naturaleza de la composición corporal en el individuo (es decir, las contribuciones relativas de las masas grasa y no grasa).

En su forma más simple, la puntuación de adiposidad de la Escala-O utiliza seis mediciones de pliegues (tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo frontal, y pantorrilla medial). Se calcula la sumatoria de estos pliegues ( $\Sigma 6PC$ ) y se corrige para la estatura. Los valores corregidos son comparados con normas y valores específicos por edad y por sexo, basados en amplios datos de la población norteamericana. Luego, la sumatoria corregida de los pliegues es asignada a una puntuación de “estatinas” (una estamina o categoría «standard de nueve» es una banda de percentiles basada en la distribución normal). El peso proporcional es simplemente el peso corregido por la altura. Nuevamente, el valor calculado es comparado con tablas de normas específicas por edad y por sexo, y se determina la puntuación o “rating” de estatinas.

Una versión más detallada de la Escala-O puede encontrarse en una versión computada (Whittingham, Ward & Ross, 1992).

#### 4.1.2 La escala-Oz

La Escala-Oz es un método basado en la Escala-O con las siguientes diferencias:

- Se han utilizado datos de la población australiana (Departamento de Artes, Deporte, Medio Ambiente, y Territorios, 1992);
- Algunos procedimientos de ajuste difieren levemente. Por ejemplo, el perímetro de brazo corregido se obtiene a partir del promedio de los pliegues bicipital y tricípital (distinto a la Escala-O, que se hace sólo por el tricípital). Además, los pliegues son corregidos por el grosor mínimo de la piel.
- Los resultados son expresados como percentiles específicos por edad y por sexo.

Actualmente, los datos de las siguientes variables están disponibles en Escala-Oz: pliegues cutáneos de tríceps, subescapular, bíceps, supraespinal, abdominal, y pantorrilla medial, sumatoria de 6 pliegues; estatura, peso; perímetro de brazo relajado, perímetro de cadera, perímetro de cintura, perímetro de brazo relajado corregido por el pliegue, y perímetro corregido de cintura por el pliegue.

Los valores brutos de la altura, BMI, y Cociente Cintura/Cadera (C Cin/Ca) son utilizados en la Escala-Oz (ya que C Cin/Ca no tiene unidad y el BMI tiene su propia lógica alométrica). El peso y los perímetros son ajustados por la altura, tal como se describe a continuación. Los pliegues son corregidos y ajustados a una estatura común, utilizando el siguiente procedimiento. El pliegue cutáneo incluye una doble capa de piel y una doble capa de grasa. Se supone que el grosor de la piel es independiente de la altura del sujeto. Este grosor representaría el mínimo valor posible para los pliegues, para cualquier individuo. A partir del análisis de cadáveres se han obtenido estos grosores en distintos sitios (Clarys, Martin, Drinkwater & Marfell-Jones, 1987). Por otro lado, se supone que los pliegues grasos podrían variar con las dimensiones lineales del sujeto (tal como también ocurre con los perímetros). Por lo tanto, el grosor de sitios específicos de dos pliegues o capas de la piel ( $t_{piel}$ ) en mm, se sustrae de la medición grosera del pliegue (T). En la Tabla 2 se muestran estos grosores. El valor resultante es ajustado a la altura standard de 170.18 cm, multiplicándolo por  $170.18/altura$  (cm). De esta forma los sujetos más altos no se ven en desventaja. Luego se vuelve a sumar el grosor de la piel. Por lo tanto, el valor ajustado ( $T_{adj}$ ) se calcula:

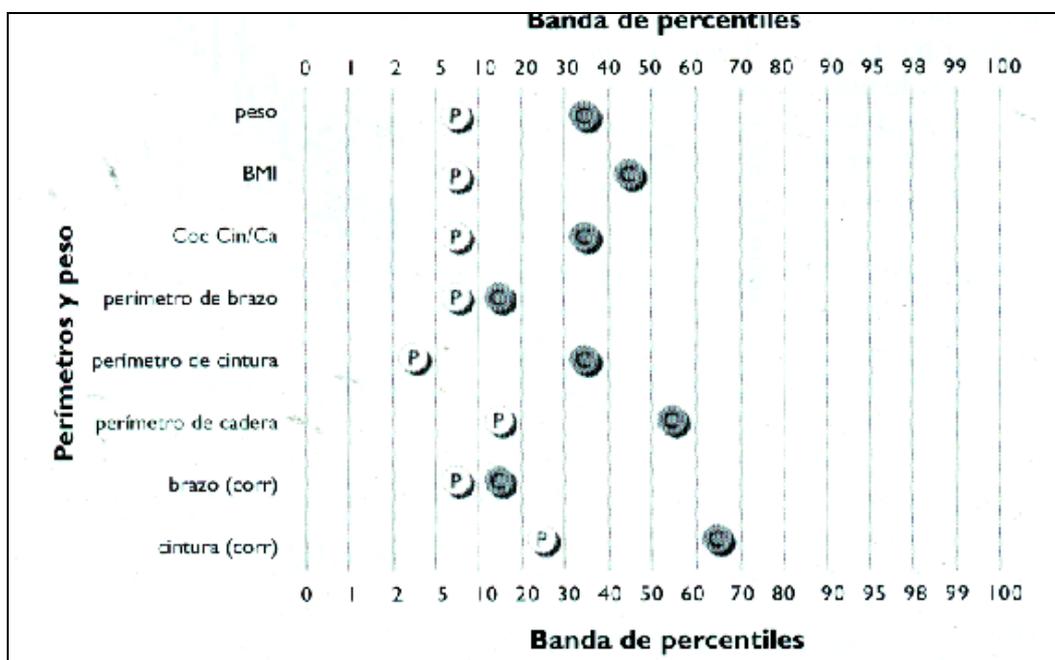
$$T_{adj} = (T - t_{piel}) \frac{170.18}{h} + t_{piel}$$

Sitio	Varones	Mujeres
Triceps	1.28	1.10
Biceps	0.77	0.49
Subescapular	2.07	1.74
Subespinal	1.27	0.92
Pantorrilla	0.89	0.79
Abdominal	1.49	1.04

**TABLA 2.** Grosor mínimo de la piel (mm) usado para corregir los pliegues cutáneos, para la utilización en la Escala-Oz. Estas mediciones son derivadas a partir de análisis de cadáveres (Clarys, Martin, Drinkwater, & Marfell-Jones, 1987).

La Figura 5 muestra las copias impresas de muestras, a partir del programa de software **LifeSize** (Olds, Ly & Norton, 1994), el cual utiliza la Escala – Oz. Se muestran los percentiles específicos por edad y por sexo, para una mujer medida en 1981 como una deportista recreacional, y nuevamente en 1994 como

una madre moderadamente activa. Hubo un cambio en las bandas de percentiles en este periodo, aún teniendo en cuenta el aumento en la edad del sujeto. Debido a que la base de datos de la Escala-Oz es transversal, no se permiten cambios en los valores medios para diferentes grupos de edad, a través del tiempo.



**FIGURA 5.** Copia impresa de la Escala – Oz a partir del programa de computación **LifeSize**. Esta gráfica muestra las bandas de percentiles específicas, por edad y por sexo, de una mujer evaluada en 1981 como deportista recreacional (círculos blancos, denominados “P”), y nuevamente evaluada en 1994, cuando sólo hacía ejercicios ocasionalmente (círculos grises, denominados “C”).

#### 4.2. Ajustando las variables funcionales

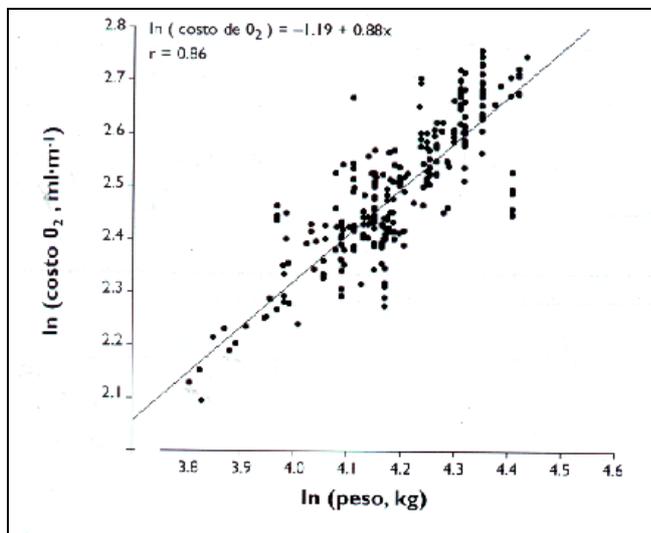
Con frecuencia tenemos que comparar las capacidades funcionales de individuos de tamaño diferente. Por ejemplo, cómo comparamos la fuerza de una persona pequeña con la de una persona grande? Si expresamos la fuerza en kilogramos levantados, entonces ponemos en ventaja a la persona más pequeña. No es razonable esperar que la persona más pequeña sea tan fuerte como la persona más grande. Por esta razón, con el fin de “nivelar el campo de juego”, tenemos categorías de pesos en deportes como levantamiento de pesas, judo, remo, y lucha libre. Por otro lado, si expresamos la fuerza como los kilogramos levantados por kilogramo de peso corporal, resulta que pondremos en

desventaja a las personas más grandes. Podemos observar este hecho, observando los record mundiales de levantamiento de pesas..

En base a kilogramo por kilogramo, los levantadores más pequeños fácilmente tienen una mejor performance que los levantadores más grandes.

Normalmente se supone que el costo de oxígeno de correr aumenta en proporción al peso corporal. Siendo otras variables iguales, se asume que tanto los corredores más livianos como los más pesados tendrán el mismo  $VO_2$  ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) a la misma velocidad de carrera. Sin embargo, un análisis de cerca de 30 estudios ( $n= 906$  evaluaciones), junto con

datos de nuestro laboratorio, mostraron que cuando el log. natural del costo de oxígeno de la carrera (calculado como el  $VO_2$  medido en  $ml$  de  $O_2 \text{ min}^{-1}$  menos el valor estimado del  $VO_2$  en reposo, dividido por la velocidad de carrera en  $m \cdot \text{min}^{-1}$ ) era graficado contra el log. natural del peso (kg), la pendiente era de 0.88 (límites de confianza del 95 %: 0.84-0.91; ver Figura 6).



**FIGURA 6.** Regresión del logaritmo natural del  $VO_2$  por unidad de velocidad ( $ml \cdot \text{min}^{-1}$ ) en relación al logaritmo natural del peso corporal (kg). El  $VO_2$  por unidad de velocidad se calcula como el  $VO_2$  medido ( $ml \cdot \text{min}^{-1}$ ) menos la tasa metabólica basal estimada ( $3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$  de peso corporal  $\cdot \text{min}^{-1}$ , dividido por la velocidad de carrera ( $m \cdot \text{min}^{-1}$ ). Los datos son medias obtenidas a partir de más de 30 estudios, en combinación con evaluaciones individuales en nuestro laboratorio ( $n \text{ total} = 906$ ).

Esto confirma las recientes observaciones de Bergh, Sjodin, Forsberg, y Svedenhag (1991) quienes, utilizando métodos levemente diferentes, observaron un exponente de 0.76 (límites de confianza del 95 %: 0.64-0.88). Esto significa que el costo de oxígeno de la carrera ( $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) es menor para los corredores más pesados que para los más livianos.

Un problema similar surge cuando consideramos los

valores del  $VO_{2\text{max}}$ . Si expresamos el  $VO_{2 \text{ max}}$  en  $l \cdot \text{min}^{-1}$ , las personas más grandes obviamente tendrán mayores valores. Por lo tanto, tienen una «mejor capacidad física» en la forma en que nosotros consideramos importante al fitness? Si expresamos el  $VO_{2 \text{ max}}$  en  $ml \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , entonces resulta que las personas más grandes están en desventaja (Nevill Ramsbottom & Williams, 1992).

Utilizando similitud geométrica, podemos decir que esperamos que tanto la fuerza como el  $VO_{2 \text{ max}}$  ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) sean proporcionales a la altura al cuadrado o al peso elevado a la potencia 0.67. Por lo tanto, deberíamos expresar la fuerza y la potencia aeróbica máxima en  $kg \text{ levantados} \cdot \text{kg}^{-0.67}$  de peso corporal, y  $l \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-0.67}$ , respectivamente? En términos generales, este sería un procedimiento razonable. Por ejemplo, Secher (1990) observó que el máximo consumo de oxígeno en los remeros se ajustaba estrechamente al peso corporal elevado a la potencia 0.67. Sin embargo, la expresión de las variables funcionales es siempre específica de la tarea. En muchos casos, estamos interesados solamente en la cantidad absoluta de peso que uno puede levantar. Es inútil saber que una persona anciana y frágil es bastante fuerte para su tamaño si no puede levantar un bolso del carrito del supermercado, o que un remero tiene un elevado  $VO_{2 \text{ max}}$  relativo si sólo pesa 50 kg.

Se ha utilizado un ajuste funcional para determinar la relación entre la performance deportiva y los requerimientos energéticos de distintos deportes. Klentrou y Montpetit (1992), por ejemplo, determinaron que el consumo de oxígeno durante la natación en estilo espalda está en función del peso corporal elevado a la potencia 0.55, mientras que el consumo de oxígeno durante el nado estilo libre está en función del peso elevado a la potencia 0.75. La Tabla 3 muestra la relación entre distintos aspectos del rendimiento y la altura estimada por similitud geométrica.

Aspecto de la performance	Proporcional a ...
Carrera	Altura <sup>0</sup> o peso <sup>0</sup>
Salto	Altura <sup>0</sup> o peso <sup>0</sup>
Fuerza	Altura <sup>2</sup> o peso <sup>0.67</sup>
Trabajo	Altura <sup>3</sup> o peso <sup>1</sup>
Potencia (absoluta)	Altura <sup>2</sup> o peso <sup>0.67</sup>
Potencia (relativa)	Altura <sup>0.67</sup> o peso <sup>0.22</sup>

**TABLA 3.** Relaciones esperadas entre varios aspectos de la performance estimadas a través de un sistema de similitud geométrica (de Astrand & Rodahl, 1977).

### 4.3. Seres humanos de «referencia»

El uso de un modelo o ser humano de «referencia» no es nuevo. Los modelos normativos del cuerpo, basados en proporciones «ideales» supuestas, han sido propuestos desde la Edad Antigua Clásica. Están incluidos en los estudios de Anatomía llevados a cabo en el Renacimiento, como se puede observar en el bien conocido **Hombre de Vitruvio** de Leonardo da Vinci (Figura 7). Se utilizó la congruencia con el ideal normativo para cuantificar la belleza humana. En este siglo, grandes estudios de población comenzaron a presentar modelos descriptivos del ser humano típico. Quizás los más conocidos son el «hombre de referencia» y la «mujer de referencia» de Behnke.

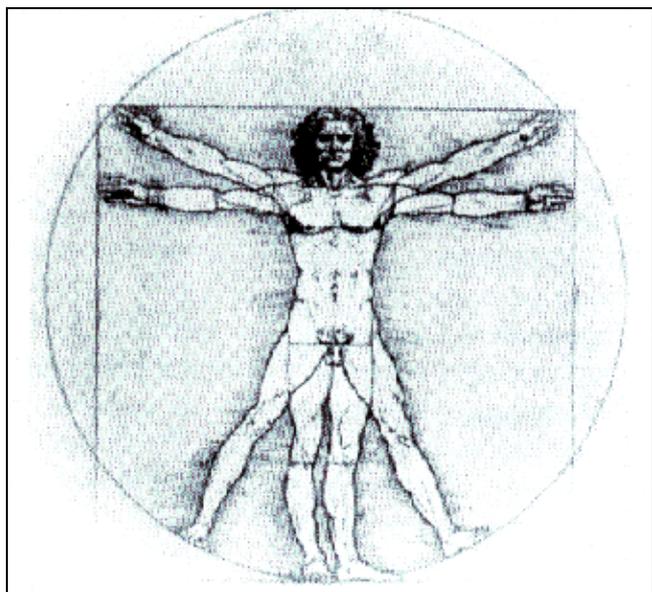


FIGURA 7. Hombre Vitruvio de Leonardo da Vinci.

#### 4.3.1. El «Phantom»

El «Phantom» es una clase diferente de modelo, al cual sus creadores, Ross y Wilson, describen como «modelo metafórico». Es una referencia humana unisexuada arbitraria, con características antropométricas específicas como la estatura (170.18 cm), el peso (64.58 kg), porcentaje de grasa corporal (18.87 %), masa grasa y muscular, perímetros, grosor de pliegues cutáneos, y diámetros. El uso principal del modelo Phantom es ajustar y escalar las variables antropométricas (referirse al punto 4.2, anteriormente). De la misma manera que la Escala-O y la Escala-Oz, utiliza similitud geométrica y ajusta la corrección para una altura de base de 170.18 cm.

Mientras que cualquier modelo (hasta una caja de cartón) podría haberse utilizado como modelo metafórico, Ross y Wilson se basaron en realidad en grandes estudios poblacionales para formular las características antropométricas del Phantom. Los

perímetros fueron estipulados a partir de los datos de Wilmore y Behnke (1969, 1970), los pliegues cutáneos a partir de datos no publicados de Yuhasz, y otras variables fueron derivadas de estudios realizados por Garrett y Kennedy (1971). Se asumió que en la población de modelos Phantom cada una de estas características estaba normalmente distribuida cerca del valor Phantom ( $p$ ) con un desvío standard ( $s$ ) que fue elaborado como el coeficiente medio de variación de los valores masculinos y femeninos. En el trabajo presentado por Ross y Marfell-Jones (1991) se puede encontrar una lista completa con las medias Phantom y los desvíos standard.

#### 4.3.1.1 Valores Z del Phantom

Los creadores del Phantom no pretenden que los datos antropométricos estén normalmente distribuidos en la población. Ellos imaginan una población de Phantoms cuyas características están normalmente distribuidas cerca de los valores medios. Esto nos permite describir las características antropométricas de un individuo como perteneciente a un Phantom, y por lo tanto obtener varios scores  $z$  a partir de la media Phantom. Para calcular el valor  $z$ , asociado con una variable individual, utilizamos la fórmula usual del valor  $z$ :

$$z = \frac{V^{adj} - p}{s}$$

donde  $p$  es el valor medio Phantom, y  $s$  es el desvío standard del valor Phantom.

El valor Phantom ( $p$ ) para el pliegue subescapular es 17.2 mm, con un desvío standard ( $s$ ) de 5.07 mm. Si un individuo en particular, con una altura de 180 cm, tiene un pliegue subescapular ( $V$ ) de 12 mm, calculamos el valor  $z$  de la siguiente manera:

\* Primero calculamos  $V^{adj}$ :

$$V^{adj} = Vx (170.18/h) = 11.35 \text{ mm}$$

\* Luego calculamos el valor  $z$ :

$$z = \frac{V^{adj} - p}{s} = \frac{11.35 - 17.2}{5.07} = -1.15$$

Por lo tanto, este individuo tiene un pliegue subescapular 1.15 desvíos standard Phantom por debajo (negativo) de la media Phantom.

Es importante entender que los valores  $z$  calculados no representan las desviaciones de una norma descriptiva (y mucho menos de prescripción) de la población. No

podemos necesariamente concluir que este individuo tenga un pliegue subescapular considerablemente menor al de la mayoría de las personas. Sólo podríamos asegurar esto, si las medias Phantom y los desvíos standard estuvieran basados en datos recolectados a partir de una adecuada población de referencia. Sin embargo, los valores  $z$  del Phantom son útiles para comparaciones.

Podemos cuantificar las diferencias entre individuos, o dentro de un mismo individuo, en términos de diferencias en valores  $z$ . La estrategia Phantom ha sido aplicada en estudios longitudinales y transversales de crecimiento (Ross y cols., 1982), en estudios comparativos con deportistas (Ross, Leahy, Drinkwater, & Swenson, 1982), y en otras áreas tales como el estudio de los marcadores antropométricos de las anomalías genéticas, y en estudios con primates no humanos.

#### 4.3.1.2. Fraccionamiento de la masa corporal: fraccionamiento en cuatro componentes

El **fraccionamiento** se refiere a la división de la masa corporal total en distintos compartimentos o submasas. El procedimiento más simple de fraccionamiento es dividir la masa corporal en grasa y compartimentos no grasos. Más recientemente, los antropometristas han utilizado modelos de cuatro o cinco componentes, con masas fraccionales que incluyen el esqueleto o masa ósea, la masa muscular, la masa grasa, la masa residual (sangre, órganos, etc.), y la masa de la piel.

Matiegka (1921) estuvo entre los primeros que empleó el método de fraccionamiento. El autor llegaba a una estimación de las masas ósea, muscular, y grasa evaluando sitios representativos (por ejemplo, los diámetros óseos en la muñeca, tobillo, rodilla, y codo para calcular la masa esquelética), y utilizando formas geométricas simples (por ejemplo, considerando a la masa muscular como una «columna muscular»).

En 1980, Drinkwater y Ross desarrollaron un método de fraccionamiento utilizando el modelo Phantom. Brevemente, la estrategia de fraccionamiento funciona de la siguiente manera:

- Para cada una de las masas fraccionales, se selecciona un subgrupo de variables antropométricas representativas. La masa esquelética está representada por los diámetros óseos, la masa grasa por los pliegues cutáneos, la masa muscular por perímetros corregidos por los pliegues cutáneos, y la masa residual, principalmente por las mediciones de la cavidad

torácica. Por ejemplo, se supone que la masa ósea debería ser mejor representada por los diámetros óseos: bi-epicondilar del fémur y húmero, perímetro de muñeca y perímetro de tobillo.

- Para cada variable en cada uno de los cuatro subgrupos, se calcula un valor  $z$  relativo al Phantom como se describió anteriormente.
- Se calcula el valor  $z$  promedio ( $z$ ) dentro de cada subgrupo. Se toma este valor como el número de desvíos standard que la masa fraccional se aleja de la masa fraccional del Phantom.
- Luego, puede calcularse la masa fraccional que el individuo tendría si fuera del tamaño del Phantom:

$$M_{adj} = z s + p$$

siendo  $M_{adj}$ , la masa fraccional (del tamaño Phantom),  $s$  el desvío standard Phantom para la masa en cuestión, y  $p$  el valor de la media de la masa Phantom respectiva.

- Luego, el individuo es ajustado hacia arriba (o hacia abajo) hasta su altura original.
- Debido a que la masa es proporcional al cubo de la altura, la ecuación apropiada para utilizar es:

$$M = M_{adj} \left( \frac{h}{170.18} \right)^3$$

donde,  $M$  es la masa fraccional del sujeto.

Este método depende claramente de varias presunciones. Se presume que:

- los sitios de medición utilizados para calcular cada masa fraccional son representativos de «tal tejido» en todo el cuerpo. (El estudiante debería observar de que a pesar de que se recomienden ciertos sitios, existe un grado de flexibilidad. Por ejemplo, es posible incluir el diámetro bi-iliocrestídeo en el cálculo de la masa ósea, u otros pliegues en el cálculo de la masa grasa);
- se utiliza un apropiado sistema de similitud (por ejemplo, que las masas realmente se ajustan a la estatura elevada al cubo);
- los valores Phantom medios y los desvíos standard para las masas fraccionales son exactos y precisos.

En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de procedimiento de fraccionamiento.

Subgrupo	Sitio de medición	Valor bruto	Valor correg.	Media Phantom	Ds Phantom	Valor Z
Masa grasa	Pliegue triceps	5.65	5.34	15.4	4.47	-2.25
	Pl. subescapular	7.35	6.95	17.2	5.07	-2.02
	Pl. subespinal	3.60	3.40	15.4	4.47	-2.68
	Pl. abdominal	4.40	4.16	25.4	7.78	-2.73
	Pl. muslo frontal	7.30	6.90	27.0	8.33	-2.41
	Pl. pantorrilla medial	5.15	4.87	16.0	4.67	-2.38
<b>Media</b>						<b>-2.41</b>
Masa residual	Diametro biacromial	42.05	39.73	38.04	1.92	+0.88
	Diam. Bi-iliocrestideo	29.60	27.97	28.84	1.75	-0.50
	Diam. Transverso torax	27.60	26.08	27.92	1.74	-1.06
	Diam. A-P torax	18.52	17.50	17.50	1.38	0.00
<b>Media</b>						<b>-0.17</b>
Masa osea	Bi-epicondilar femur	10.87	10.27	9.52	0.48	+1.56
	Bi-epicondilar humero	7.42	7.01	6.48	0.35	+1.51
	Perimetro muñeca	17.65	16.68	16.35	0.72	+0.46
	Perimetro tobillo	23.15	21.87	21.71	1.33	+0.12
<b>Media</b>						<b>+0.91</b>
Masa muscular	Per. Br. Relaj corr.*	30.68	28.99	22.05	1.91	+3.63
	Per. Antebrazo	28.90	27.30	25.13	1.41	+1.55
	Per. Torax correg.*	93.79	88.62	82.46	4.86	+1.27
	Per. Muslo correg.*	53.86	50.89	47.34	3.59	+0.99
	Per. Pantorrilla cor*	39.38	37.21	30.22	1.97	+3.55
<b>Media</b>						<b>+2.20</b>

**TABLA 4.** Ejemplo del cálculo de las masas fraccionales para un sujeto con un peso corporal (pc) de 72.2kg y una altura (h) de 180.1 cm.

*s* = desvío standard; valor correg. = valor bruto ajustado a la altura (es decir, multiplicado por 170.18/h).

\* Los per. corr. son los perímetros corregidos por los pliegues cutáneos. Esto se hace restando el pliegue correspondiente de la región (en cm) multiplicado por  $\pi$ . Perímetro corregido de brazo relajado = perímetro de brazo relajado -  $\pi$  x pliegue tricípital; perímetro de tórax corregido = perímetro de tórax -  $\pi$  x pliegue subescapular; perímetro de muslo corregido = perímetro de muslo -  $\pi$  x pliegue muslo frontal; perímetro corregido de pantorrilla = perímetro de pantorrilla -  $\pi$  x pliegue pantorrilla medial. El perímetro del antebrazo no se corrige por el pliegue respectivo.

#### Masa grasa

Media Phantom = 12.13 kg; s Phantom = 3.25 kg

$$M_{adj} = x s + p = -2.41 \times 3.25 + 12.13 = 4.3 \text{ kg.}$$

$$M = M_{adj} \left( \frac{h}{170.18} \right)^3 = 4.3 \times (180.1/170.18)^3 = 5.1 \text{ kg}$$

#### Masa ósea

Media Phantom = 10.49 kg; s Phantom = 1.57 kg

$$M_{adj} = x s + p = 0.91 \times 1.57 + 10.49 = 11.9$$

$$M = M_{adj} \left( \frac{h}{170.18} \right)^3 = 11.9 \times (180.1/170.18)^3 = 14.1 \text{ kg}$$

#### Masa residual

Media Phantom = 16.41 kg; s Phantom = 1.90 kg

$$M_{adj} = x s + p = -0.17 \times 1.90 + 16.41 = 16.1 \text{ kg}$$

$$M = M_{adj} \left( \frac{h}{170.18} \right)^3 = 16.1 \times (180.1/170.18)^3 = 19.1 \text{ kg}$$

#### Masa muscular

Media Phantom = 25.55 kg; s Phantom = 2.99 kg

$$M_{adj} = x s + p = 2.20 \times 2.99 + 25.55 = 32.1 \text{ kg}$$

$$M = M_{adj} \left( \frac{h}{170.18} \right)^3 = 32.1 \times (180.1/170.18)^3 = 38.0 \text{ kg}$$

**Masa total estimada = masa grasa + masa residual + masa ósea + masa muscular**  
**= 5.1 + 19.1 + 14.1 + 38.0 = 76.3 kg**

El trabajo original que presenta el método de fraccionamiento de Drinkwater-Ross (Drinkwater & Ross, 1980) observaba que cuando uno sumaba las cuatro masas (grasa, muscular, ósea, y residual), la sumatoria era casi igual al peso corporal total medido (observar el peso corporal total no es utilizado en el cálculo de las masas fraccionales). En una muestra con 939 sujetos, los autores reportaron una correlación de  $r = 0.97$  entre el peso corporal real de balanza y la suma de las cuatro masas fraccionales, con una diferencia promedio de sólo 0.3 %. Sin embargo, estas cifras esconden algunas discrepancias grandes y sistemáticas. Withers y cols. (1991) observaron diferencias absolutas promedio de 2-3 % entre la suma de las masas fraccionales y el peso corporal medido, pero diferencias absolutas mucho mayores (20 % para varones y 30 % para mujeres) entre la masa grasa estimada por densitometría y la masa grasa calculada por fraccionamiento.

Estos errores podrían deberse a:

- la presunción de similitud geométrica como método de ajuste y corrección;
- el igual peso o influencia de cada una de las mediciones en la contribución a cada masa fraccional;
- el uso de un modelo unisexuado, el cual ignora las distribuciones específicas, en cada sexo, de la masa grasa en los depósitos subcutáneos, y entre los depósitos subcutáneos y viscerales, y
- la validez de las medias Phantom y los desvíos standard para las masas fraccionales.

Este último punto es de particular importancia. Claramente, si las medias y los desvíos standard para las masas fraccionales fueran diferentes, arribaríamos a distintas masas fraccionales predictivas para los individuos. En primer lugar, cómo llegaron a las medias y desvíos standard? Esto nunca ha sido aclarado, pero podrían haberse basado originalmente, al menos en parte, en pequeñas muestras con análisis de cadáveres.

#### 4.3.1.3. Fraccionamiento de la masa corporal: Cinco componentes

Recientemente, se ha desarrollado un método revisado de fraccionamiento (Kerr, 1988), utilizando un modelo con cinco componentes (piel, tejido adiposo, masa ósea, muscular, y residual). Este método también difiere del de Drinkwater-Ross en el aspecto en que las masas fraccionales pueden ser ajustadas de

acuerdo a cualquier dimensión elegida, no solamente la altura. Cuando se validó utilizando datos de varios cadáveres, la adiposidad fue levemente subestimada en las mujeres (3-4 %), y sobreestimada en los varones (6 %).

## 5. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de similitud son herramientas útiles en antropometría cuando se realizan comparaciones inter e intra-individuo, estableciendo normas descriptivas y de prescripción, y descubriendo los mecanismos subyacentes. Sin embargo, son modelos «ideales» que son valiosos sólo en la medida en que se corresponden con la realidad. Por lo tanto, cuando es necesario una corrección o un ajuste se deberían considerar distintos sistemas de similitud que estén en competencia. El sistema de similitud más comúnmente utilizado es el de similitud geométrica, y una gran cantidad de datos empíricos sugieren que describe bastante bien un rango de variables funcionales y de performance. El fraccionamiento de la masa corporal de Drinkwater-Ross es un método interesante, pero se lo debería tratar con precaución debido a los errores ocasionalmente grandes y sistemáticos, y a las presunciones metodológicas poco claras.

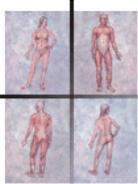
## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Åstrand, P.-O., & Rodahl, K. (1977). **Textbook of work physiology**. New York: McGraw-Hill.
- Bergh, U., Sjödin, B., Forsberg, A., & Svedenhag, J. (1991). The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, **23**, 205-211.
- Bogardus, C., & Ravussin, E. (1989). Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. **American Journal of Clinical Nutrition**, **49**, 968-975.
- Clarys, J.P., Martin, A.D., Drinkwater, D.T., & Marfell-Jones, M.J. (1987). The skinfold: myth and reality. **Journal of Sports Science**, **5**, 3-33.

- Department of the Arts, Sport, the Environment and Territories (1992).  
**Pilot survey of the fitness of Australians.**  
Canberra: Australian Government Publishing Service.
- Drinkwater, D., & Ross, W.D. (1980).  
Anthropometric fractionation of body mass.  
In W. Ostyn, G. Beunen & J. Simons (Eds.),  
**Kinanthropometry II** (pp. 177-188).  
Baltimore: University Park Press.
- Ford, L.E. (1984).  
Some consequences of body size.  
**American Journal of Physiology**, **247**,  
H495-H507.
- Garrett, J.W., & Kennedy, K.W. (1971).  
**A collation of anthropometry, Vol. 1-2.**  
Springfield, Va: National Technical  
Information Service.
- Huxley, J.S. (1932).  
**Problems in relative growth.**  
London: Methuen.
- Jerison, H.J. (1973).  
**Evolution of the brain and intelligence.**  
New York: Academic Press.
- Katch, V.L. (1973).  
Use of the oxygen/body weight ratio in  
correlational analyses: spurious correlations  
and statistical considerations.  
**Medicine and Science in Sports**, **5**, 253-  
257.
- Kerr, D. (1988).  
**An anthropometric method for  
fractionation of skin, adipose, bone, muscle  
and residual tissue masses in males and  
females aged 6 to 77 years.**  
Unpublished MSc thesis, Simon Fraser  
University, Burnaby, BC, Canada.
- Klentrou, P.P., & Montpetit, R.R. (1992).  
Energetics of backstroke swimming in males  
and females.  
**Medicine and Science in Sports and  
Exercise**, **24**, 371-375.
- Lietzke, M.H. (1956).  
Relation between weight-lifting totals and  
body weight.  
**Science**, **124**, 486-487.
- Matiegka, J. (1921).  
The testing of physical efficiency.  
**American Journal of Physical  
Anthropology**, **4**, 223-230.
- McMahon, T.A., & Bonner, J.T. (1983).  
**On size and life.**  
New York: Scientific American Library.
- Nevill, A.M., Ramsbottom, R., & Williams, C. (1992).  
Scaling physiological measurements for  
individuals of different body size.  
**European Journal of Applied Physiology**,  
**65**, 110-117.
- Olds, T.S., Ly, S.V., & Norton, K.I. (1994).  
**LifeSize** [Computer software].  
Sydney: Nolds Sports Scientific.
- Ross, W.D., Grand, T.I., Marshall, G.R., & Martin, A.D.  
(1982).  
On human and animal geometry.  
In M.L. Howell and B.O. Wilson (Eds.),  
**Proceedings of the VII Commonwealth and  
International Conference on Sport,  
Physical Education, Recreation and Dance**  
(pp. 77-97). Brisbane: Department of Human  
Movement Studies, University of  
Queensland.
- Ross, W.D., Leahy, R.M., Drinkwater, D.T., &  
Swenson, P.O. (1981).  
Proportionality and body composition in male  
and female Olympic athletes:  
a kinanthropometric overview.  
In J. Borms, M. Hebbelinck & A. Venerando  
(Eds.), **The female athlete** (pp. 74-84).  
Basel: Karger.
- Ross, W.D., & Marfell-Jones, M. (1991).  
Kinanthropometry.  
In J.D. MacDougall, H.A. Wenger & H.J.  
Green (Eds.), **Physiological testing of the  
high-performance athlete** (pp. 223-308).  
Champaign, IL: Human Kinetics.
- Ross, W.D., & Ward, R. (1985).  
**The O-scale system.**  
Surrey, B.C: Rosscraft.

- Ross, W.D., & Wilson, N.C. (1974).  
A stratagem for proportional growth assessment.  
**Acta Paediatrica Belgica, Suppl. 28**, 169-182.
- Secher, N. (1990).  
Rowing.  
In T. Reilly, N. Secher, P. Snell & C. Williams (Eds.), **Physiology of sports** (p. 268).  
London: E. & FN. Spon.
- Smith, R.J. (1980).  
Rethinking allometry.  
**Journal of Theoretical Biology, 87**, 97-111
- Tanner, J.M. (1949).  
Fallacy of per-weight and per-surface area standards, and their relation to spurious correlation.  
**Journal of Applied Physiology, 2(1)**, 1 - 15.
- Taylor, C.R. (1987).  
Structural and functional limits to oxidative metabolism: insights from scaling.  
**Annual Review of Physiology, 49**, 35-146.
- Teissier, G. (1931).  
Recherches morphologiques et physiologiques sur la croissance des insectes.  
**Travaux de la station biologique de Roscoff, 9**, 27-238.
- Weibel, E. (1984).  
**The pathway for oxygen**.  
Cambridge, MS: Harvard University Press.
- Whittingham, N.O., Ward, R., & Ross, W.D. (1992).  
A computer based physique assessment system.  
**The Australian Journal of Science and Medicine in Sport, 24**, 39-43.
- Wilmore, J.H., & Behnke, A.R. (1969).  
An anthropometric estimate of body density and lean body weight in young men.  
**Journal of Applied Physiology, 27**, 35-31.
- Wilmore, J.H., & Behnke, A.R. (1970).  
An anthropometric estimate of body density and lean body weight in young women.  
**American Journal of Clinical Nutrition, 23**, 267-274.
- Withers, R.T., Craig, N.P., Bali, C.T., Norton, K.I., & Whittingham, N.O. (1991).  
The Drinkwater-Ross anthropometric fractionation of body mass: comparison with measured body mass and densitometrically estimated fat and fat-free masses.  
**Journal of Sports Sciences, 9**, 299-311

# CAPÍTULO 6



## SOMATOTIPO

Lindsay Carter

### 1. INTRODUCCION

El interés por el tipo corporal o físico de los individuos tiene una larga historia que se remonta a los antiguos griegos. A lo largo de los siglos se han propuesto distintos sistemas para clarificar al físico, los cuales han llevado al origen del sistema llamado de somatotipo propuesto por Sheldon (1940), y posteriormente modificado por otros, en especial por Parnell (1958) y Heath y Carter (1967). Sheldon creía que el somatotipo era una entidad fija o genética, pero la visión actual es que el somatotipo es fenotípico y, por lo tanto, susceptible de cambios con el crecimiento, envejecimiento, ejercicio, y nutrición (Carter & Heath, 1990).

La técnica del somatotipo es utilizada para estimar la forma corporal y su composición. El somatotipo resultante brinda un resumen cuantitativo del físico, como un total unificado. Se define como la cuantificación de la forma y composición actual del cuerpo humano. Está expresado en una calificación de tres números que representan los componentes endomórfico, mesomórfico, y ectomórfico, respectivamente, siempre en el mismo orden. El endomorfismo representa la adiposidad relativa, el mesomorfismo representa la robustez o magnitud músculo-esquelética relativa, y el ectomorfismo representa la linealidad relativa o delgadez de un físico. Por ejemplo, una calificación 3-5-2 se registra de esta manera, y se lee como tres, cinco, dos. Estos números dan la magnitud de cada uno de los tres componentes.

En cada componente, las calificaciones entre 2 y 2 1/2 son consideradas bajas; de 3 a 5, moderadas; de 5 1/2 a 7, altas; y de 7 1/2 o más, muy altas (Carter & Heath, 1990). Teóricamente no existe un límite superior para las calificaciones, y en casos muy excepcionales se han observado valores de 12 o más. Debido a que los componentes son calificados en relación con la estatura, el somatotipo es independiente de, o corregido para la altura.

La singular combinación de tres aspectos del físico, en una única expresión de tres números, constituye el punto fuerte del concepto del somatotipo. La calificación nos dice qué tipo de físico o se tiene, y cómo se ve. Ud. debería ser capaz de visualizar qué números «parecen» ser, cuando se comparan dos o más físicos. Entre otras aplicaciones, el somatotipo ha sido utilizado:

- para describir y comparar deportistas en distintos niveles de competencia;
- para caracterizar los cambios del físico durante el crecimiento, el envejecimiento, y el entrenamiento;
- para comparar la forma relativa de hombres y mujeres;
- como herramienta en el análisis de la «imagen corporal» (ver Capítulo 9).

Es importante reconocer que el somatotipo describe al físico en forma General, y no da respuestas a preguntas más precisas relacionadas con las dimensiones específicas del cuerpo. El método del somatotipo de Heath-Carter es el más utilizado en la actualidad.

Existen tres formas de obtener el somatotipo.

1. *El método antropométrico más el método fotoscópico*, el cual combina la antropometría y clasificaciones a partir de una fotografía -- es el método de criterio o referencia;
2. *el método fotoscópico*, en el cual las clasificaciones se obtienen a partir de una fotografía estandarizada; y
3. *el método antropométrico*, en el cual se utiliza la antropometría para estimar el somatotipo de criterio.

Debido a que la mayoría de las personas no tienen la oportunidad de ser clasificadores de criterio usando fotografías, el método antropométrico ha probado ser el más útil para una amplia variedad de aplicaciones. Se puede utilizar en el campo o en el laboratorio,

requiere poco equipamiento y pocos cálculos, y las mediciones pueden realizarse con relativa facilidad en sujetos vestidos con la mínima cantidad de ropa.

El propósito de este capítulo es brindar una simple descripción del método antropométrico del somatotipo, junto con los cálculos para los análisis individuales y grupales. Está dirigido a estudiantes y profesionales interesados en aprender “cómo realizarlo”. Para tener una comprensión mayor del somatotipo, sus usos y limitaciones, el lector puede consultar en Carter y Heath (1990).

## 2. METODO ANTROPOMETRICO DEL SOMATOTIPO DE HEATH-CARTER

El equipamiento antropométrico incluye un estadiómetro con un cabezal móvil, una balanza, un calibre deslizante pequeño (calibre óseo), una cinta flexible de acero o de fibra de vidrio, un calibre para pliegues cutáneos. Para calcular el somatotipo antropométrico son necesarias diez mediciones: estatura en extensión máxima, peso corporal, cuatro pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, y pantorrilla medial), dos diámetros óseos (bepicondilar del húmero y fémur), y dos perímetros (brazo flexionado, en tensión máxima, y pantorrilla).

En el Capítulo 2 se describen las características de los equipos y las, técnicas de medición.

La estatura y los perímetros son registrados con una precisión lo más cercana a 1.0 mm, los diámetros bipicondiliares con una precisión lo más cercana a 0.5 mm, y los pliegues con una precisión a 0.1 mm (calibre Harpenden) o a 0.5 mm con otros calibres.

Tradicionalmente, cuando se clasifican individuos usando el somatotipo antropométrico, se ha utilizado el mayor de los diámetros y de los perímetros, comparando los lados derechos e izquierdos. En la medida de lo posible se debería realizar de esta forma. Sin embargo, en estudios con gran cantidad de sujetos se recomienda que todas las mediciones (incluyendo los pliegues) se lleven a cabo en el lado derecho (ver Capítulos 2 y 3).

### 2.1 Cálculo del somatotipo antropométrico de Heath-Carter

Existen tres maneras de calcular el somatotipo antropométrico:

- (1). entrar los datos en una planilla proforma de valores;
- (2). entrar los datos en ecuaciones derivadas de la planilla de valores; o
- (3). entrar los datos en programas computados, como **LifeSize**.

En primer lugar se describirá el uso de la planilla de calificaciones. Las Figuras 1 y 2, son ejemplos de los cálculos usando la planilla. La Figura 3 es una planilla en blanco que el estudiante puede fotocopiar para usarla. Se supone que las mediciones se han registrado en una planilla adecuada, y que se han calculado los valores medios o las medianas, antes de transferirlos a la planilla de calificación.

#### 2.1.1 Planilla de calificación del somatotipo de Heath-Carter

- (i) Registrar los datos pertinentes de identificación en la sección superior de la planilla

##### 2.1.1.1 Calificación del endomorfismo (pasos ii-v)

- (ii) Registrar los valores de cada uno de los cuatro pliegues.
- (iii) Sumar los pliegues tricipital, subescapular, y supraespinal; anotar la suma en el casillero que dice «sumatoria de tres pliegues».

Corregir por la altura, multiplicando esta sumatoria por  $(170.18/\text{altura del sujeto, en cm})$ .

- (iv) Marcar con un círculo el valor más cercano en la escala de “sumatoria de tres pliegues”, en la derecha. La escala se lee verticalmente de valores bajos a elevados, en columnas (de abajo hacia arriba), y horizontalmente de izquierda a derecha, en filas. El “límite inferior” y “límite superior” en las filas brindan los límites exactos para cada columna. Estos valores son marcados con un círculo sólo cuando la sumatoria de los 3 pliegues se encuentra a menos de 1 mm del límite. En la mayoría de los casos se marca el valor en la fila de “punto medio”.
- (v) En la fila para el endomorfismo, marcar con un círculo, el valor directamente bajo la columna para el valor marcado en (iv), anteriormente.



Nombre <i>B. Roberts</i>	Edad <i>21 años 5 meses</i>	M <input checked="" type="radio"/>	No. <i>B</i>
Ocupación <i>Estudiante</i>	Grupo Etnico <i>Blanca</i>	Fecha <i>25 de Diciembre de 1995</i>	
Proyecto <i>FS</i>	Evaluado por <i>(KIN)</i>		

Pliegues cutáneos (mm)	Sumatoria de 3 pliegues (mm)
Tríceps = <b>15-0</b>	Límite superior 10.9 14.9 18.9 22.9 26.9 31.2 35.8 40.7 46.2 52.2 58.7 65.7 73.2 81.2 89.7 98.9 108.9 119.7 131.2 143.7 157.2 171.9 187.9 204.0
Subescapular = <b>8-8</b>	Punto medio 9.0 13.0 17.0 21.0 25.0 <b>29.0</b> 33.5 38.0 43.5 49.0 55.5 62.0 69.5 77.0 85.5 94.0 104.0 114.0 125.5 137.0 150.5 164.0 180.0 196.0
Supraespinal = <b>6-0</b>	Límite inferior 7.0 11.0 15.0 19.0 23.0 27.0 31.5 35.9 40.8 46.3 52.3 58.8 65.8 73.3 81.3 89.8 99.0 109.0 119.8 131.3 143.8 157.3 172.0 188.0
Sumatoria de 3 pliegues = <b>29.8</b>	$\times \left( \frac{170.18}{A} \right) = 29.7$ (Pliegues corregidos por la altura)
Pantorrilla = <b>12.4</b>	

Estatura (cm) = <b>170.7</b>	Endomorfismo 1 1½ 2 2½ <b>3</b> 3½ 4 4½ 5 5½ 6 6½ 7 7½ 8 8½ 9 9½ 10 10½ 11 11½ 12
Diám. del Húmero (cm) = <b>6-10</b>	139.3 143.5 147.5 151.1 154.9 158.8 162.5 166.4 <b>170.7</b> 174.0 177.8 181.6 185.4 189.2 193.0 196.9 200.5 204.5 208.5 212.1 215.9 220.7 223.5 227.3
Diám. del Fémur (cm) = <b>8-65</b>	5.19 5.34 5.49 5.64 5.78 5.93 <b>6.07</b> 6.22 6.37 6.51 6.65 6.80 6.95 7.09 7.24 7.38 7.53 7.67 7.82 7.97 8.11 8.25 8.40 8.55
Perím. de Bíceps (cm) = <b>24.9</b>	7.41 7.62 7.83 8.04 8.24 8.45 <b>8.65</b> 8.87 9.08 9.28 9.49 9.70 9.91 10.12 10.33 10.55 10.74 10.95 11.16 11.36 11.57 11.78 11.99 12.21
Pliegue Tricipital (cm) = <b>1.5</b>	23. 24.4 25.0 25.7 26.3 27.0 27.7 28.3 29.0 29.7 30.3 31.0 31.6 32.2 33.0 33.6 34.3 35.0 35.6 36.3 37.0 37.6 38.3 39.0
Perím. de Pantorrilla (cm) = <b>33.1</b>	27.7 28.5 29.4 30.1 30.8 <b>31.5</b> 32.4 33.2 33.9 34.7 35.5 36.3 37.1 37.8 38.6 39.4 40.2 41.0 41.7 42.5 43.3 44.1 44.9 45.6
Pliegue de Pantorrilla (cm) = <b>1.2</b>	
	31.9

Peso (Kg) = <b>52.6</b>	Mesomorfismo 1 1½ 2 <b>2</b> 2½ 3 3½ 4 4½ 5 5½ 6 6½ 7 7½ 8 8½ 9
Estatura/√Peso = <b>45.56</b>	Límite superior 39.65 40.74 41.83 42.82 43.84 44.88 45.93 46.23 47.58 48.25 48.94 49.63 50.33 50.99 51.68
	Punto medio and 40.20 41.09 41.79 42.48 43.14 43.84 44.50 45.19 45.89 46.32 47.24 47.94 48.50 49.29 49.99 50.68 51.34
	Límite inferior below 39.66 40.75 41.44 42.14 42.83 43.49 44.19 44.85 <b>45.56</b> 46.24 46.95 47.59 48.26 48.95 49.64 50.34 51.00
	Ectomorfismo ½ 1 1½ 2 2½ 3 3½ 4 4½ <b>5</b> 5½ 6 6½ 7 7½ 8 8½ 9

Somatotipo Antropométrico	ENDOMORFISMO <b>3</b>	MESOMORFISMO <b>2</b>	ECTOMORFISMO <b>5</b>	Por: <b>KIN</b>
Somatotipo Antropométrico más Fotoscópico				Evaluador:

FIGURA 2. Cálculos del somatotipo antropométrico para el sujeto B, utilizando la planilla proforma de registro. Perímetro del bíceps en cm corregido por la adiposidad, sustrayendo el valor del pliegue tricipital, expresando en cm. Perímetro de la pantorrilla corregido por la adiposidad, sustrayendo el valor del pliegue de pantorrilla, expresado en cm.

- Las desviaciones de las columnas hacia la derecha de la columna de la estatura son desviaciones positivas. Las desviaciones hacia la izquierda son negativas. (Los valores marcados directamente bajo la columna de la estatura tienen desviación cero y son ignorados).
  - Calcular la suma algebraica de +/- desviaciones (D).
  - Para calcular la clasificación del mesomorfismo, usar esta fórmula:  $Mesomorfismo = (D/8) + 4.0$
  - Redondear el valor obtenido del mesomorfismo a la unidad de calificación más cercana a un medio (1/2).
- (x) En la línea para el mesomorfismo marcar con un círculo el valor más cercano obtenido en el número (ix) de arriba. (Si el valor está exactamente en la mitad entre dos puntos del rating, marcar el valor más cercano a 4 en la escala. Esta regresión conservadora hacia el 4

protege contra valoraciones falsamente extremas).

### 2.1.1.3 Calificación del ectomorfismo (pasos xi-xvi)

- (xi) Registrar el peso (kg).
- (xii) Obtener el valor de la altura dividida por la raíz cúbica del peso. Registrar este valor cociente.
- (xiii) Marcar con un círculo el valor más cercano en la escala de altura/raíz cúbica del peso hacia la derecha [ver la forma de leer la escala en el paso anteriormente].
- (xiv) En la línea para el ectomorfismo marcar con un círculo el valor de la ectomorfia directamente debajo del cociente altura/raíz cúbica del peso marcado, por el paso xiii.
- (xv) Ir hacia la parte inferior de la planilla proforma. En la línea donde dice "somatotipo antropométrico", registrar las calificaciones

obtenidas para el endomorfismo, mesomorfismo, y ectomorfismo.

(xvi) El evaluador firma con su nombre en la derecha de la calificación registrada. Los datos de identificación en la parte superior de la planilla

son de alguna manera arbitrarios. Los investigadores podrían cambiarlos para adecuarlos a sus propósitos.

Nombre	Edad	M	F	No.																																																																																																																																																																																																																													
Ocupación	Grupo Etnico	Fecha																																																																																																																																																																																																																															
Proyecto	Evaluado por																																																																																																																																																																																																																																
Pliegues cutáneos (mm)	Sumatoria de 3 pliegues (mm)																																																																																																																																																																																																																																
Tríceps =	Límite superior	10.9	14.9	18.9	22.9	26.9	31.2	35.8	40.7	46.2	52.2	58.7	65.7	73.2	81.2	89.7	98.9	108.9	119.7	131.2	143.7	157.2	171.9	187.9	204.0																																																																																																																																																																																																								
Subescapular =	Punto medio	9.0	13.0	17.0	21.0	25.0	29.0	33.5	38.0	43.5	49.0	55.5	62.0	69.5	77.0	85.5	94.0	104.0	114.0	125.5	137.0	150.5	164.0	180.0	196.0																																																																																																																																																																																																								
Supraespinal =	Límite inferior	7.0	11.0	15.0	19.0	23.0	27.0	31.5	35.9	40.8	46.3	52.3	58.8	65.8	73.3	81.3	89.8	99.0	109.0	119.8	131.3	143.8	157.3	172.0	188.0																																																																																																																																																																																																								
Sumatoria de 3 pliegues =	$\times \left( \frac{170.18}{A} \right) =$	(Pliegues corregidos por la altura)																																																																																																																																																																																																																															
Pantorrilla =																																																																																																																																																																																																																																	
Estatura (cm) =	<table border="1"> <tr> <th>Endomorfismo</th> <th>1</th><th>1½</th><th>2</th><th>2½</th><th>3</th><th>3½</th><th>4</th><th>4½</th><th>5</th><th>5½</th><th>6</th><th>6½</th><th>7</th><th>7½</th><th>8</th><th>8½</th><th>9</th><th>9½</th><th>10</th><th>10½</th><th>11</th><th>11½</th><th>12</th> </tr> <tr> <td>190.3</td><td>143.5</td><td>147.3</td><td>151.1</td><td>154.9</td><td>158.8</td><td>162.6</td><td>166.4</td><td>170.2</td><td>174.0</td><td>177.8</td><td>181.6</td><td>185.4</td><td>189.2</td><td>193.0</td><td>196.9</td><td>200.3</td><td>204.5</td><td>208.3</td><td>212.1</td><td>215.9</td><td>219.7</td><td>223.5</td><td>227.3</td> </tr> <tr> <td>Diám. del Húmero (cm) =</td> <td>5.19</td><td>5.34</td><td>5.49</td><td>5.64</td><td>5.78</td><td>5.93</td><td>6.07</td><td>6.22</td><td>6.37</td><td>6.51</td><td>6.65</td><td>6.80</td><td>6.95</td><td>7.09</td><td>7.24</td><td>7.38</td><td>7.53</td><td>7.67</td><td>7.82</td><td>7.97</td><td>8.11</td><td>8.25</td><td>8.40</td><td>8.55</td> </tr> <tr> <td>Diám. del Fémur (cm) =</td> <td>7.41</td><td>7.62</td><td>7.83</td><td>8.04</td><td>8.24</td><td>8.45</td><td>8.66</td><td>8.87</td><td>9.06</td><td>9.28</td><td>9.49</td><td>9.70</td><td>9.91</td><td>10.12</td><td>10.33</td><td>10.53</td><td>10.74</td><td>10.95</td><td>11.16</td><td>11.36</td><td>11.57</td><td>11.78</td><td>11.99</td><td>12.21</td> </tr> <tr> <td>Perím. de Bíceps (cm) =</td> <td colspan="25"></td> </tr> <tr> <td>-Pliegue Tricipital (cm) =</td> <td colspan="25"></td> </tr> <tr> <td>Perím. de Pantorrilla (cm) =</td> <td>23.7</td><td>24.4</td><td>25.0</td><td>25.7</td><td>26.3</td><td>27.0</td><td>27.7</td><td>28.3</td><td>29.0</td><td>29.7</td><td>30.3</td><td>31.0</td><td>31.6</td><td>32.2</td><td>33.0</td><td>33.6</td><td>34.3</td><td>35.0</td><td>35.6</td><td>36.3</td><td>37.0</td><td>37.6</td><td>38.3</td><td>39.0</td> </tr> <tr> <td>-Pliegue de Pantorrilla (cm) =</td> <td>27.7</td><td>28.5</td><td>29.3</td><td>30.1</td><td>30.8</td><td>31.6</td><td>32.4</td><td>33.2</td><td>33.9</td><td>34.7</td><td>35.5</td><td>36.3</td><td>37.1</td><td>37.8</td><td>38.6</td><td>39.4</td><td>40.2</td><td>41.0</td><td>41.7</td><td>42.5</td><td>43.3</td><td>44.1</td><td>44.9</td><td>45.6</td> </tr> </table>																									Endomorfismo	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8	8½	9	9½	10	10½	11	11½	12	190.3	143.5	147.3	151.1	154.9	158.8	162.6	166.4	170.2	174.0	177.8	181.6	185.4	189.2	193.0	196.9	200.3	204.5	208.3	212.1	215.9	219.7	223.5	227.3	Diám. del Húmero (cm) =	5.19	5.34	5.49	5.64	5.78	5.93	6.07	6.22	6.37	6.51	6.65	6.80	6.95	7.09	7.24	7.38	7.53	7.67	7.82	7.97	8.11	8.25	8.40	8.55	Diám. del Fémur (cm) =	7.41	7.62	7.83	8.04	8.24	8.45	8.66	8.87	9.06	9.28	9.49	9.70	9.91	10.12	10.33	10.53	10.74	10.95	11.16	11.36	11.57	11.78	11.99	12.21	Perím. de Bíceps (cm) =																										-Pliegue Tricipital (cm) =																										Perím. de Pantorrilla (cm) =	23.7	24.4	25.0	25.7	26.3	27.0	27.7	28.3	29.0	29.7	30.3	31.0	31.6	32.2	33.0	33.6	34.3	35.0	35.6	36.3	37.0	37.6	38.3	39.0	-Pliegue de Pantorrilla (cm) =	27.7	28.5	29.3	30.1	30.8	31.6	32.4	33.2	33.9	34.7	35.5	36.3	37.1	37.8	38.6	39.4	40.2	41.0	41.7	42.5	43.3	44.1	44.9	45.6
Endomorfismo	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8	8½	9	9½	10	10½	11	11½	12																																																																																																																																																																																																										
190.3	143.5	147.3	151.1	154.9	158.8	162.6	166.4	170.2	174.0	177.8	181.6	185.4	189.2	193.0	196.9	200.3	204.5	208.3	212.1	215.9	219.7	223.5	227.3																																																																																																																																																																																																										
Diám. del Húmero (cm) =	5.19	5.34	5.49	5.64	5.78	5.93	6.07	6.22	6.37	6.51	6.65	6.80	6.95	7.09	7.24	7.38	7.53	7.67	7.82	7.97	8.11	8.25	8.40	8.55																																																																																																																																																																																																									
Diám. del Fémur (cm) =	7.41	7.62	7.83	8.04	8.24	8.45	8.66	8.87	9.06	9.28	9.49	9.70	9.91	10.12	10.33	10.53	10.74	10.95	11.16	11.36	11.57	11.78	11.99	12.21																																																																																																																																																																																																									
Perím. de Bíceps (cm) =																																																																																																																																																																																																																																	
-Pliegue Tricipital (cm) =																																																																																																																																																																																																																																	
Perím. de Pantorrilla (cm) =	23.7	24.4	25.0	25.7	26.3	27.0	27.7	28.3	29.0	29.7	30.3	31.0	31.6	32.2	33.0	33.6	34.3	35.0	35.6	36.3	37.0	37.6	38.3	39.0																																																																																																																																																																																																									
-Pliegue de Pantorrilla (cm) =	27.7	28.5	29.3	30.1	30.8	31.6	32.4	33.2	33.9	34.7	35.5	36.3	37.1	37.8	38.6	39.4	40.2	41.0	41.7	42.5	43.3	44.1	44.9	45.6																																																																																																																																																																																																									
Peso (Kg) =	Límite superior	39.65	40.74	41.43	42.13	42.82	43.48	44.18	44.81	45.53	46.23	46.92	47.58	48.25	48.94	49.63	50.33	50.99	51.68																																																																																																																																																																																																														
Estatura <sup>3</sup> /Peso =	Punto medio	and	40.20	41.09	41.79	42.48	43.14	43.84	44.50	45.19	45.89	46.52	47.21	47.94	48.60	49.29	49.99	50.68	51.34																																																																																																																																																																																																														
	Límite inferior	below	39.66	40.75	41.44	42.14	42.83	43.49	44.19	44.85	45.54	46.24	46.93	47.59	48.26	48.95	49.64	50.34	51.00																																																																																																																																																																																																														
	Ectomorfismo	½	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½	5	5½	6	6½	7	7½	8	8½	9																																																																																																																																																																																																														
Somatotipo Antropométrico	ENDOMORFISMO																			MESOMORFISMO				ECTOMORFISMO		Por:																																																																																																																																																																																																							
Somatotipo Antropométrico más Fotoscópico																										Evaluador:																																																																																																																																																																																																							

FIGURA 3. Planilla en blanco para el registro del somatotipo antropométrico

Perímetro del bíceps en cm corregido por la adiposidad, sustrayendo el valor del pliegue tricipital, expresado en cm Perímetro de la pantorrilla corregido por la adiposidad, sustrayendo el valor del pliegue de pantorrilla, expresado en cm.

2.1.1.4. El cálculo del mesomorfismo

Dos principios son importantes para entender el cálculo del mesomorfismo, en la planilla proforma:

(1). Cuando las mediciones de los diámetros óseos y de los perímetros de las extremidades caen a la derecha de la columna marcada para la altura, el sujeto tiene mayor robustez músculo-esquelética relativa a la estatura (es decir, mayor mesomorfia) que un sujeto cuyos valores se encuentran a la izquierda de la columna de la estatura. La desviación promedio de los valores marcados para los diámetros y perímetros es el

mejor índice del desarrollo músculo-esquelético relativo a la estatura.

(2). La escala está construida de manera que el sujeto es calificado con 4 para el mesomorfismo cuando la desviación promedio cae en la columna bajo la estatura del sujeto, o cuando los cuatro valores marcados caen en la columna de la estatura del sujeto. Es decir, la desviación promedio (+/-) a la izquierda o derecha de la columna de la altura se suma o se resta de 4.0 para el mesomorfismo. Para el sujeto A, el mesomorfismo = +4+1+4+2/8 + 4.0 = 5.4; para el sujeto B, el mesomorfismo = -2-2-8-3/ 8 + 4.0 = 2.1.

### 2.1.1.5. Cálculo del cociente altura-peso

El cociente altura-peso (CAP), o la altura dividida por la raíz cúbica del peso (estatura/peso<sup>3</sup>) como se utiliza en el somatotipo, podría determinarse utilizando una calculadora manual. Se necesita una calculadora con una función que permita realizar “y” a la potencia “x” (y<sup>x</sup>). Para obtener la raíz cúbica, ingresar el peso, es decir la base (y), pulsar y<sup>x</sup>, entrar 0.3333, y pulsar “igual”. Si hay una función IVN y<sup>x</sup>, se la podría utilizar en lugar de entrar el 3 (para la raíz cúbica).

### 2.1.1.6. Limitaciones de la planilla de calificación

A pesar de que la planilla de registro brinda un método simple de calcular el somatotipo antropométrico, especialmente en el campo, tiene algunas limitaciones. En primer lugar, las escalas del mesomorfismo en los extremos inferiores y superiores no incluyen algunos de los valores para sujetos pequeños; por ejemplo, para los niños, o para sujetos grandes, como los levantadores de pesas. En segundo lugar, podrían generarse algunos errores al redondear en el cálculo de la calificación del mesomorfismo, porque la altura del sujeto, a menudo, no es la misma que la marcada en la columna de la estatura. Si se toma el somatotipo antropométrico como una estimación, esta segunda limitación no es un problema serio. Los siguientes procedimientos, descritos en Carter (1980) y Carter y Heath (1990), pueden corregir estos problemas.

### 2.1.2. Ecuaciones para un somatotipo antropométrico decimal

El segundo método para obtener el somatotipo antropométrico es por medio de ecuaciones, en las cuales se ingresan los datos. Para calcular el endomorfismo, utilizar la siguiente ecuación:

$$\text{Endomorfismo} = -0.7182 + 0.1451 \times \Sigma\text{PC} - 0.00068 \times \Sigma\text{PC}^2 + 0.0000014 \times \Sigma\text{PC}^3$$

donde,  $\Sigma\text{PC}$  = (suma de pliegues tricéptico, subescapular, y supraespinal) multiplicada por (170.18/altura, en cm). Esto representa el endomorfismo corregido por la altura, y es el método de preferencia para calcular el endomorfismo.

La ecuación utilizada para calcular el mesomorfismo es:

$$\text{Mesomorfismo} = [0.858 \times \text{diámetro húmero} + 0.601 \times \text{diámetro fémur} + 0.188 \times \text{perímetro de brazo}$$

$$\text{corregido} + 0.161 \times \text{perímetro de pantorrilla corregido}] - [\text{altura} \times 0.131] + 4.5$$

Para calcular el ectomorfismo de acuerdo al cociente altura-peso (CAP), se utilizan tres ecuaciones diferentes:

Si el CAP es mayor que, o igual a, 40.75, entonces

$$\text{Ectomorfismo} = 0.732 \times \text{CAP} - 28.58$$

Si el CAP es menor que 40.75 y mayor a 38.25, entonces

$$\text{Ectomorfismo} = 0.463 \times \text{CAP} - 17.63$$

Si el CAP es igual, o menor que, 38.25, entonces

$$\text{Ectomorfismo} = 0.1$$

Los somatotipos resultantes (utilizando endomorfismo corregido para la altura) son 1.6 - 5.4 - 3.2 y 3.0 - 2.1 - 4.8, para los sujetos A y B, respectivamente (Figuras 1 y 2).

### 2.1.3 Programas computados para calcular el somatotipo

Las ecuaciones en la Sección 2.1.2 pueden ser utilizadas en programas computados para análisis individuales o grupales. Se pueden elaborar programas interactivos para QBASIC, otros lenguajes, y para hojas de cálculo.

### 2.2 Control de los resultados

Luego que se ha calculado el somatotipo antropométrico, es lógico el resultado? Hay varias formas de controlar los resultados para detectar errores de medición o cálculo.

Usando los ejemplos en las planillas proforma de las Figuras 1 y 2, los somatotipos resultantes (redondeados a la media unidad más cercana) son 1.5 - 5.5 - 3 y 3 - 2 - 5, para los sujetos A y B, respectivamente. Estos somatotipos, son razonables? Ciertas calificaciones de somatotipos no son biológicamente posibles, aunque no son éstos los casos de nuestros ejemplos. Por ejemplo, un somatotipo 2-2-2 o uno 7-8-7 son somatotipos imposibles. Por lo general, los somatotipos con endomorfismo y/o mesomorfismo elevados no pueden tener también un ectomorfismo alto. Por el contrario, aquellos elevados en ectomorfismo no pueden ser

elevados en endomorfia y/o mesomorfia; y los que tienen un bajo endomorfismo y mesomorfismo deben tener un alto ectomorfismo.

Luego, observar el patrón de los valores circulados en las Secciones para el endomorfismo y el mesomorfismo en la planilla de registro. Existen inconsistencias en los datos? Para el endomorfismo, son razonables los valores de los pliegues cutáneos? Para el mesomorfismo, existe alguna variable (excluyendo la altura) que esté bastante alejada de las demás? En la Figura 1, los valores marcados para la extremidad superior están levemente hacia la derecha, y son más grandes en relación con la altura, que las variables de la extremidad inferior. Sin embargo, este patrón no es inusual y es bastante aceptable, en este caso. Por el contrario, si el diámetro del fémur fuera de 7.95 cm en vez de 9.75 cm, o el perímetro corregido de pantorrilla fuera de 44.9 cm en lugar de 37.1 cm, tamañas desviaciones sugerirían errores. Si es posible, controlar los errores al registrar y re-evaluar al sujeto. Además, controlar para ver si los pliegues correctos (en cm) han sido sustraídos de los valores correctos de los perímetros. En la Figura 2, el pequeño perímetro de brazo corregido (23.4 cm) parece sospechosamente bajo, pero en este sujeto realmente representaba su pequeño desarrollo muscular en las extremidades superiores.

Si el cálculo para cualquier componente es cero o es negativo, se asigna un valor de 0.1 como calificación para ese componente, porque por definición, los «ratings» no pueden ser cero o negativos. La calificación fotoscópica sería de 1/2 (0.5). Si ocurren estos valores bajos, se deberían controlar los datos originales. Para el endomorfismo y para el mesomorfismo es poco probable encontrar valores menores a 1.0, pero estos valores no son inusuales para el ectomorfismo. Las calificaciones de los componentes deberían redondearse al 0.1 más cercano a una unidad, o a la media unidad más cercana, de acuerdo a su uso posterior.

Luego de que los valores son ingresados en las ecuaciones (ya sea por calculadora o por computadora), en vez de ingresarse en la planilla, es imposible controlar el patrón de valores ya sea en la sección para el endomorfismo o el mesomorfismo como en la planilla de registro, aunque se pueden examinar los valores originales para detectar errores. Esta es una limitación del uso de las ecuaciones. Se pueden hacer mayores controles para cualquier método usando el CAP y graficando el somatotipo.

Existe una relación entre el CAP y los posibles somatotipos (ver Figura 4). Los somatotipos en las líneas son aquellos que más probablemente resulten para un determinado CAP. Por ejemplo, dado un CAP de 50.25, los somatotipos más probables son 1-1-8, 1-2-9, o 2-1-9. (Los guiones se suprimieron en la Tabla para ahorrar espacio). Los siguientes somatotipos más probables son aquellos que se encuentran en la línea directamente superior e inferior a la línea para 50.25. Si ninguno de estos somatotipos concuerda o no están cercanos cuando se interpola para las calificaciones de medias unidades, podría haber errores en los datos o en los cálculos. Sin embargo, otros factores como las comidas pesadas o la deshidratación pueden afectar el peso corporal lo suficientemente como para alterar el CAP “normal”.

Para el sujeto A, CAP = 43.4, y en la Figura 4 muestra que en la línea para un CAP de 43.64, los posibles somatotipos son 1-6-3 y 2-5-3. Su somatotipo de 1.5 - 5.5 - 3 es una combinación de estas dos calificaciones, por lo tanto su «rating» antropométrico concuerda con lo estimado según la Tabla del CAP. Para el sujeto B, CAP = 45.6, y su somatotipo de 3-2-5 aparece en la línea superior a la correspondiente para su CAP. Su ectomorfismo es limítrofe entre 4.5 y 5, lo cual sugiere que ella podría ser 3-2-4.5, es decir la mitad entre las dos filas. Los somatotipos para ambos sujetos parecen ser razonables.

CAP	½ -1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50.91										119
50.25									118	129,219
49.59								117	128,218	
48.93								127,217	138,318 228	
48.27							126,216	137,317 227		
47.61							136,316 226	237,327		

46,95						135,315 225	146,416 236,326			
46,28					134,314 224	154,415 235,325	246,426 336			
45,62					144,414 234,324	245,425 335				
44,96				233	154,514 244,424 334	255,525 345,435				
44,30				153,513 333	254,524 344,434					
43,64			242,422	163,613 253,523 343,433	354,534 444					
42,98			162,612 252,522	263,623 353,533 443						
42,32		341,431	172,712 262,622 352,532 442	363,633 453,543						
41,66		171,711 261,621 351,531 441	182,812 272,722 362,632 452,542							
40,99		181,811 271,721 361,631 451,541	282,822 372,732 462,642 552							
40,33		191,911 281,821 371,731 461,641 551								
39,67		291,921 381,831 471,741 561,651								
38,68	5-6½-½ 10-2-1 2-10-1 661	391,931 481,841 571,751								
37,69	10-3-1 3-10-1 10½-2½-½	491,941 581,851 671,761								
36,37	6½-7½-½ 10½-3½-½ 11-3-1 771	4-10-1 10-4-1 591,951 681,861								
34,71	781,871 11½-3½-½ 12-3-1	4-11-1 11-4-1 5-10-1 10-5-1 691,961								
33,06	7½-8½-½ 11½-4½-½ 12-4-1 13-3-1 881	5-11-1 11-5-1 6-10-1 10-6-1 791,971								

31,41	12-5-1 13-4-1	7-10-1 10-7-1 891,981 11-6-1								
29,75	12-6-1 13-5-1 14-4-1	8-10-1 10-8-1 11-7-1 991								

FIGURA 4. Distribución de los somatotipos de acuerdo al CAP (altura/raíz cúbica del peso).

### 2.3 Graficación del somatotipo

Una de las ventajas de los somatotipos es que se pueden mostrar en una gráfica standard llamada somatocarta, de manera que se puede tener una representación visual de dónde se encuentra cada uno en relación a otros somatotipos. El somatotipo es en realidad tri-dimensional, y se puede imaginar a un somatopunto como un punto en el «espacio somático» tri-dimensional (ver Carter & Heath, 1990, pag. 404). Tradicionalmente, la calificación de tres números del somatotipo es graficada en una somatocarta bi-dimensional utilizando coordenadas X e Y, derivadas de la calificación (ver Figura 5). Las coordenadas son calculadas de la siguiente manera:

$X = \text{ectomorfismo} - \text{endomorfismo}$

$Y = 2 \times \text{mesomorfismo} - (\text{endomorfismo} + \text{ectomorfismo})$

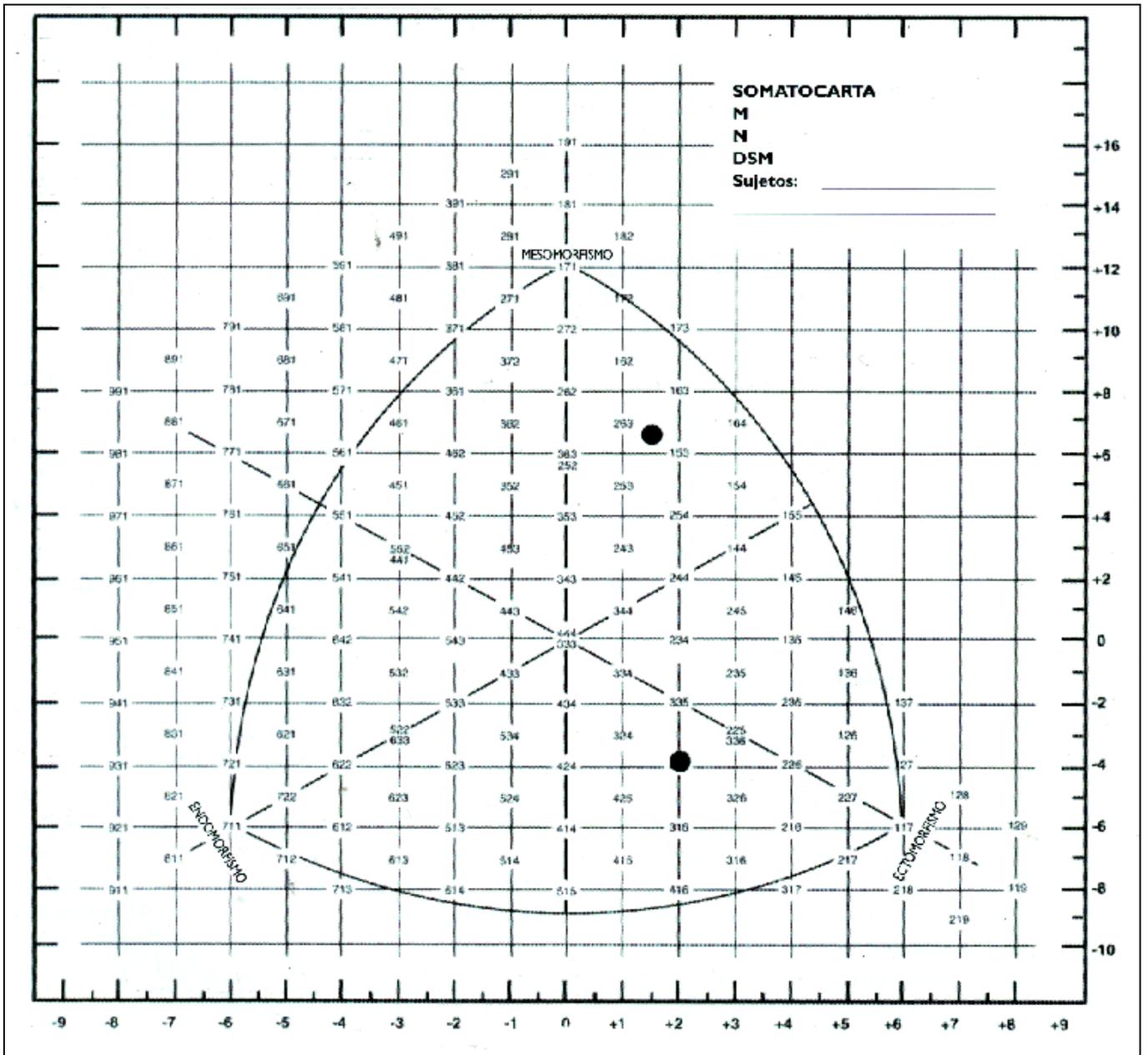
Para el sujeto A,  $X = 1.5$ , e  $Y = 6.5$ . Para el sujeto B,  $X = 2.0$ , e  $Y = -4.0$ . Estos puntos en la somatocarta son denominados somatopuntos. Si el somatopunto para el sujeto está lejos del esperado, cuando se lo compara con un adecuado grupo de referencia, hay que controlar los datos y los cálculos. Debido a que la Figura 5 está bastante poblada con todos los cuadrantes, los somatopuntos deberían ubicarse en una somatocarta sin cuadrantes. La Figura 6 muestra una somatocarta en blanco que el estudiante puede fotocopiar.

En las Figuras 7 y 8 se muestran los somatotipos medios para distintos deportes en Australia. Estos datos fueron recolectados en una gran muestra con deportistas de alto rendimiento, de niveles provincial o nacional (Withers y cols., 1986, 1987).

### 2.4 Somatotipo fotográfico

El Somatotipo fotográfico es un registro valioso del físico, especialmente cuando se esperan cambios, o para estudios longitudinales de crecimiento. Se puede utilizar como suplemento de la calificación del somatotipo antropométrico, en la evaluación de la imagen corporal (ver Capítulo 9), y en asociación con el perfil antropométrico. Aún si no se es un evaluador calificado del somatotipo, se puede buscar la correspondencia entre el somatotipo antropométrico y lo que se ve en la fotografía. En otras palabras, la foto aporta la imagen visual de cómo se ve un somatotipo 2-5-3 o 6-3-1, en particular. En Carter y Heath (Sección 1, 1990) se describen los detalles de cómo calificar las fotografías, con ejemplos. La Tabla 1 muestra algunas frases descriptivas o «puntos de anclaje» verbales que están asociados con las calificaciones de los componentes. Sin embargo, éstas sólo deben tenerse en cuenta como guías.

El Somatotipo fotográfico requiere poses estandarizadas, con vistas de frente, de perfil, y de espaldas, del sujeto (Figura 9). El equipo mínimo recomendado consiste de una cámara 35 mm de buena calidad, con un lente de 80 mm y flash incorporado. La cámara debería estar colocada sobre un trípode, a 5.8 mt. del sujeto, y el lente aproximadamente en la mitad de la estatura, para la mayoría de los sujetos: Los rollos color standard (ASA 200) comercialmente revelados son bastante buenos y relativamente económicos. El sujeto debería vestir con el mínimo de ropa como un traje de baño (de una o dos piezas), o shorts. Una estación más permanente de somatotipo debería incluir un tablero de datos o registros identificatorios (generalmente detrás del sujeto), una plataforma giratoria para orientar al sujeto en los diferentes ángulos y posiciones standards, fondo blanco, y reflectores o luces para flash. (Ver Carter & Heath, Sección I, 1990, para otras opciones).



*FIGURA 5. Somatocarta con cuadrantes superpuestos para las coordenadas X e Y, para graficar los somatotipos. Están graficados los somatotipos 1.5 – 5.5 – 3 (arriba) y 3 – 2 – 5 (abajo).*

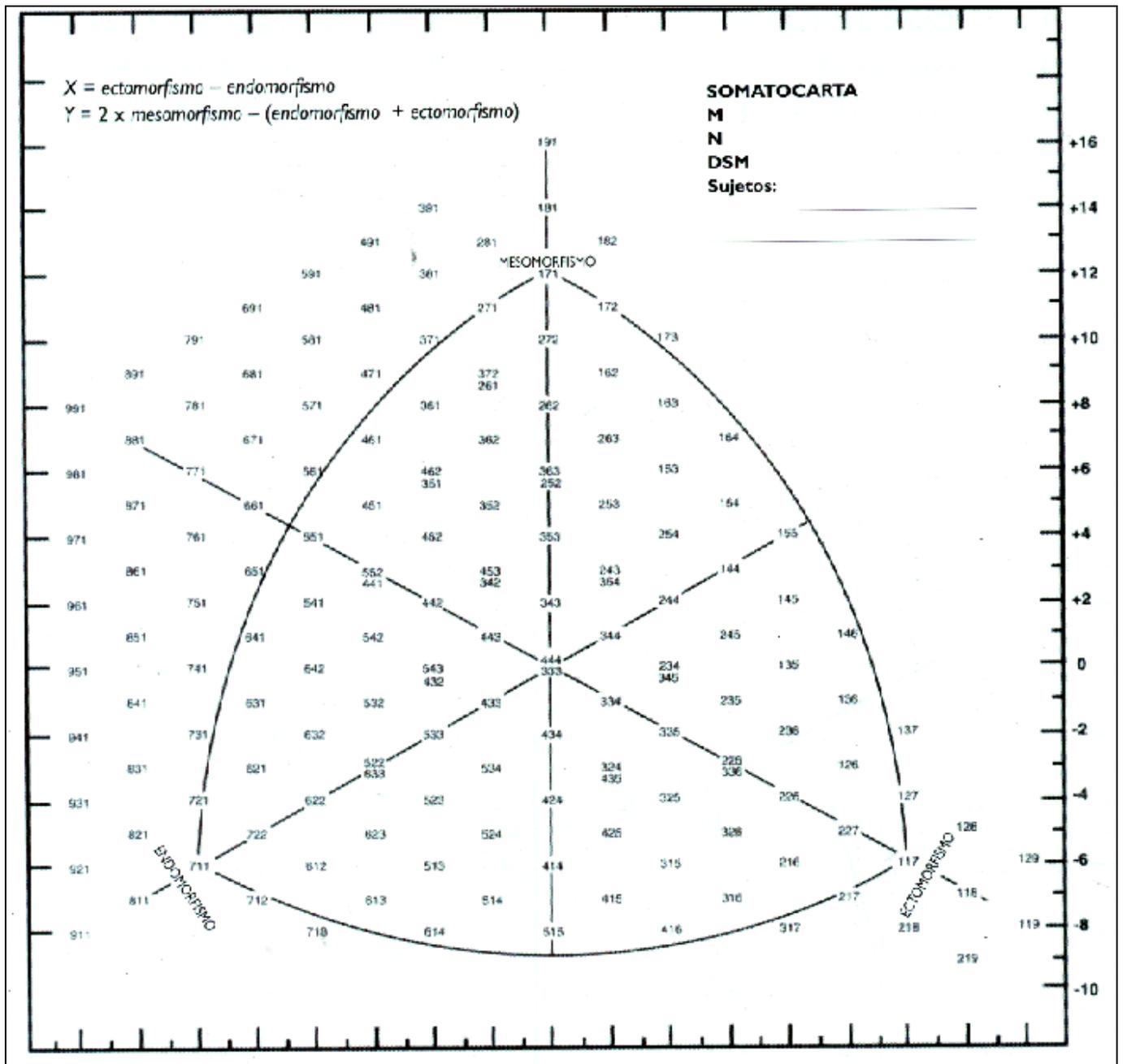


FIGURA 6. Somatocarta en blanco.

1. Básquetbol (3.7-4.0-2.9)	6. Squash (3.4-4.0-2.8)
2. Hockey (3.7 -4.5-2.2)	7. Voleibol (3.0-3.5-3.5)
3. Cestobol (3.0-3.8-3.3)	8. Badminton (4.1-4.4-2.5)
4. Fútbol (4.2-4.6-2.2)	9. Lacrosse (4.1-4.5-2.4)
5. Sóftbol (3.8-4.3-2.7)	10. Cricket (4.9-4.4-2.0)

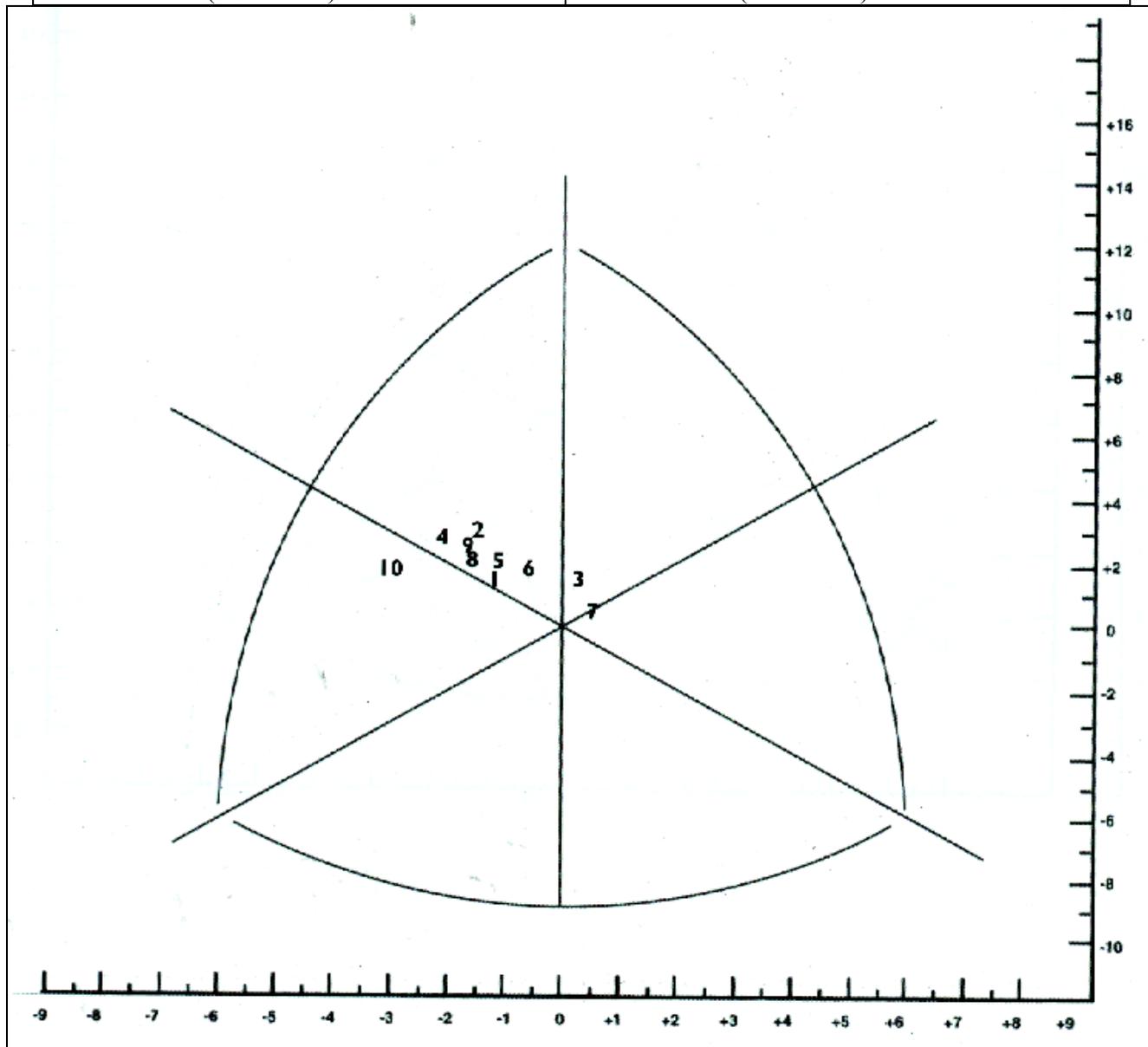


FIGURA 7. Somatocarta que muestra los somatopuntos de deportistas mujeres australianas. Después de cada deporte se muestran los valores medios, para los tres componentes del Somatotipo. (Datos de Withers y cols., 1987).

1. Fútbol de Reglas Australianas (2.1-5.7-2.5)	6. Levantamiento de potencia (2.7-7.9-0.6)
2. Básquetbol (2.1-4.5-3.5)	7. Remo, categoría peso pesado (2.0-5.2-3.0)
3. Gimnasia (1.9-6.1-2.5)	8. Rugby (2.7-6.0-2.0)
4. Hockey (2.4-5.4-2.6)	9. Carrera de distancia (1.8-4.4-3.7)
5. Carrera con vallas (1.8-4.1-3.9)	10. Squash (2.5-5.2-2.8)

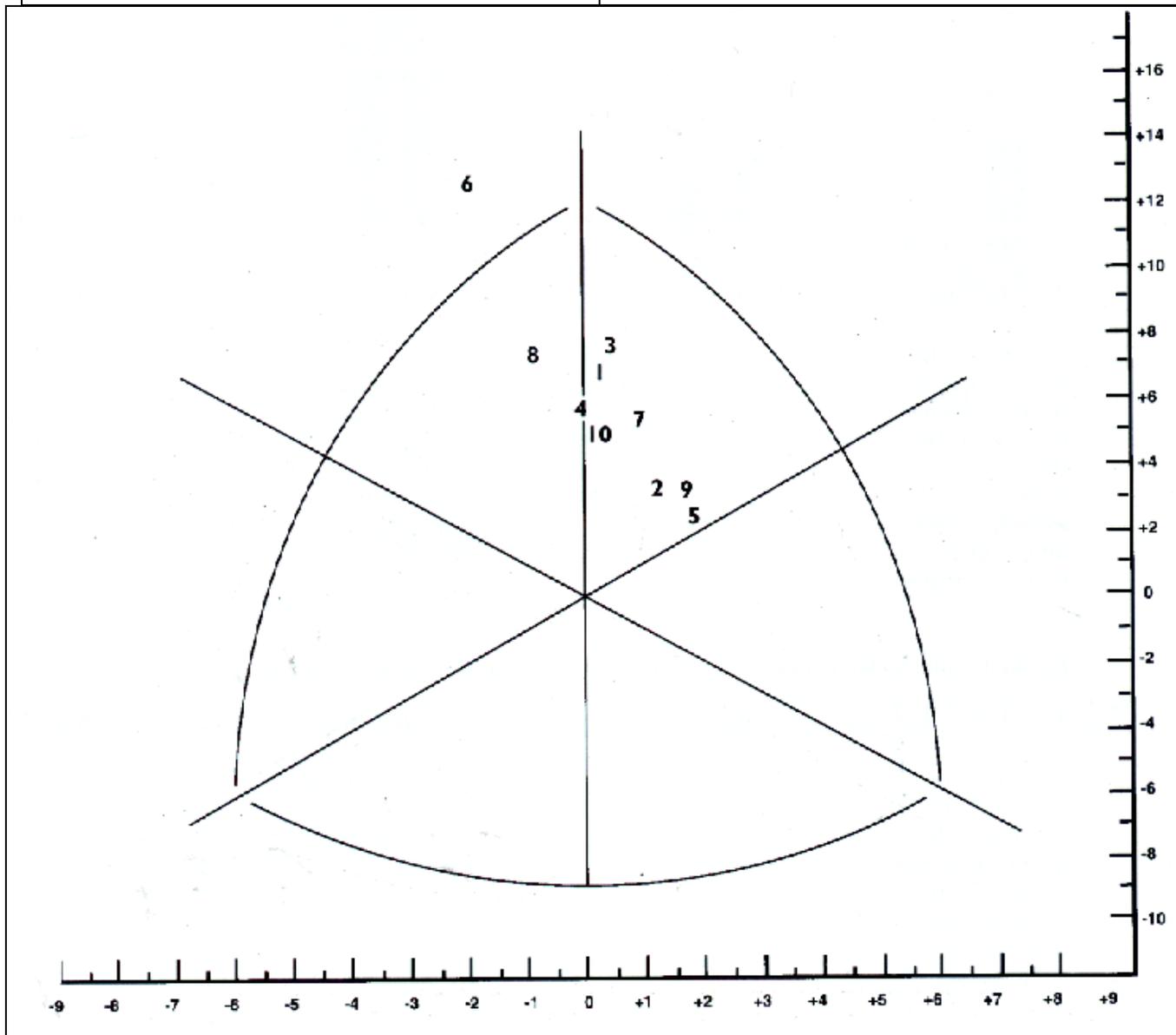


FIGURA 8. Somatocarta que muestra los somatopuntos de deportistas varones australianos. Después de cada deporte se muestran los valores medios, para los tres componentes del Somatotipo. (Datos principalmente de Withers y cols., 1986).

**Escala de calificación del endomorfismo y características (adiposidad relativa)**

1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
Baja adiposidad relativa; poca grasa subcutánea; contorno musculares y óseos visibles				Moderada adiposidad relativa; la grasa subcutánea cubre los contornos musculares y óseos; apariencia mas blanda.				Alta adiposidad relativa; grasa subcutánea abundante; redondez en tronco y extremidades; mayor acumulación de grasa en el abdomen.				Extremadamente alta adiposidad relativa; muy abundante grasa subcutánea; grandes cantidades de grasa abdominal en el tronco; concentración proximal de grasa en extremidades.			

**Escala de calificación del mesomorfismo y características (robustez o prevalencia músculo-esquelética, relativa a la altura)**

1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
Bajo desarrollo musc. esquelético relativo; diámetros óseos estrechos; diámetros musculares estrechos; pequeñas articulaciones en las extremidades.				Moderado desarrollo musc.-esquelético relativo; mayor volumen muscular y huesos y articulaciones de mayores dimensiones.				Alto desarrollo musc-esquelético relativo; diámetros óseos grandes; músculos de gran volumen; articulaciones grandes.				Desarrollo músculo-esquelético relativo extremadamente alto; músculos muy voluminosos; esqueleto y articulaciones muy grandes.			

**Escala de calificación del ectomorfismo y características (linearidad relativa)**

1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5
Linearidad relativa gran volumen por unidad de altura; “redondo” como una “pelota”; extremidades relativamente voluminosas.				Linearidad relativa moderada; menos volumen por unidad de altura; mas estirado.				Linearidad relativa elevada; poco volumen por unidad de altura.				Linearidad relativa extremadamente alta; muy estirado; delgado como un lápiz; volumen mínimo por unidad de altura.			

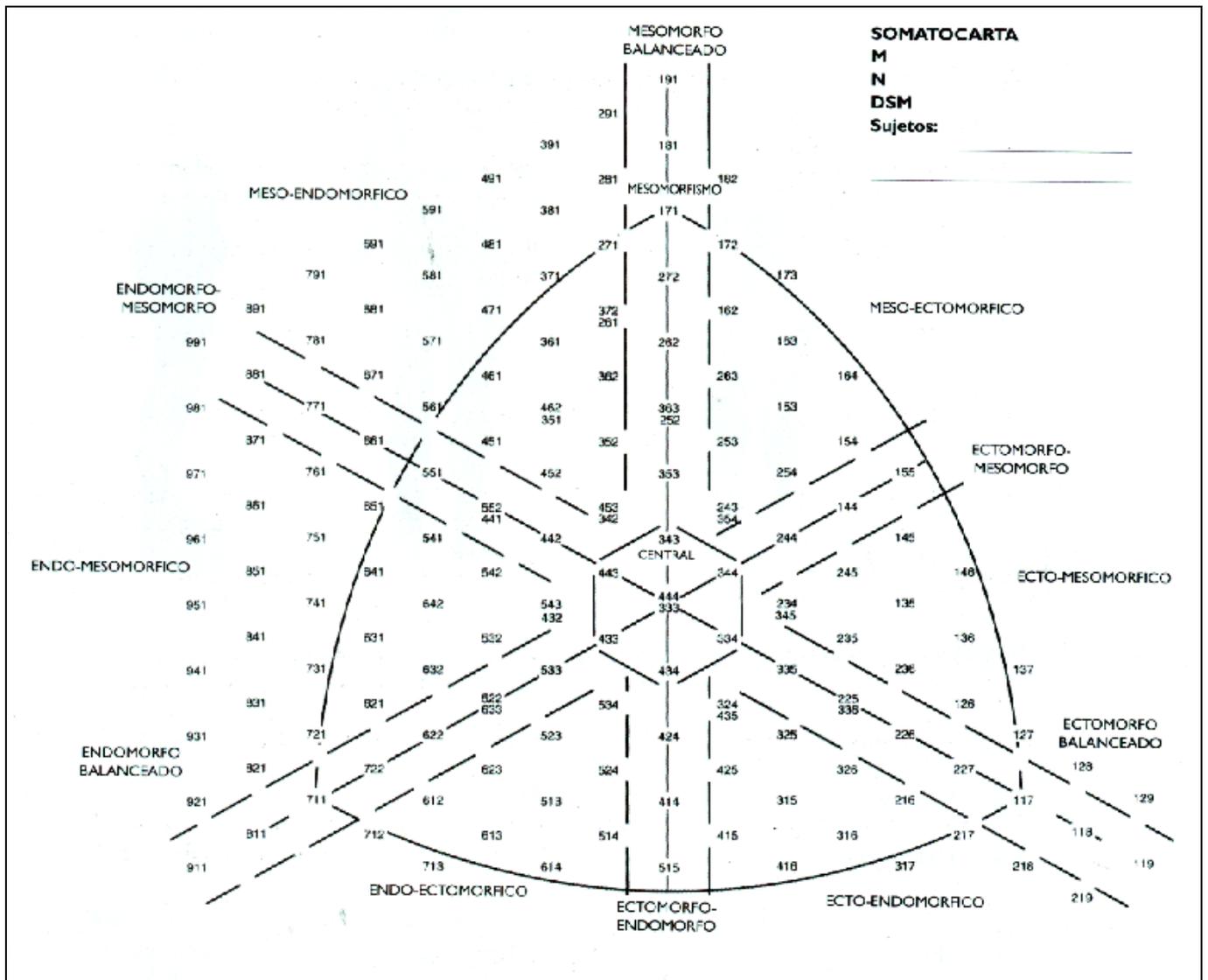
**TABLA 1.** Frases verbales o “puntos de apoyo”, utilizadas en forma adjunta, en la determinación del somatotipo a partir de fotografías o de inspección visual. (Adaptado de Carter & Heath, 1990).



**FIGURA 9.** Las tres poses para el somatotipo fotográfico estandarizado. El sujeto tiene un peso corporal de 77 kg, y una altura de 1 80.4 cm. Su calificación de criterio del somatotipo es 1.5 - 6.5 - 2.5.

**2.5 Categorías de somatotipos y SAD SAMs****2.5.1 Categorías**

Los somatotipos con similares relaciones entre la predominancia de los componentes son agrupados en categorías, denominadas de tal modo que reflejen estas relaciones. La Figura 10 muestra las categorías de somatotipos representadas en la somatocarta. Las definiciones están dadas en la Tabla 2. El sujeto A es un mesomórfico-ectomorfo (o meso-ectomorfo), y el sujeto B es un ectomórfico-endomorfo (o ecto-endomorfo). Todos los otros somatotipos graficados dentro de la misma área están asignados con la misma categoría. Las frecuencias de somatotipos dentro de las categorías (o categorías combinadas) pueden utilizarse para describir la distribución general de las muestras.



**FIGURA 10.** Categorías de somatotipos denominadas de acuerdo a Carter y Heath (1990). Los somatopuntos que caen dentro de la misma área están agrupados por categorías.

<b>central</b>	Ningun componentediferente en mas de una unidad con respecto a los otros dos, resultante en rating de 2, 3, o 4
<b>Endo-ectomórfico</b>	El <b>endomorfismo</b> es dominante y el ectomorfismo es mayor que el mesomorfismo
<b>Endomorfismo balanceado</b>	El <b>endomorfismo</b> es dominante y el mesomorfismo y ectomorfismo son iguales (no difieren en mas que 0.5).
<b>Endo-mesomórfico</b>	El <b>endomorfismo</b> es dominante y el mesomorfismo es mayor que el ectomorfismo.
<b>Endomorfo-mesomorfo</b>	El <b>endomorfismo</b> y el mesomorfismo son iguales (no difieren en mas que 0.5), y el ectomorfismo es menor.
<b>Meso-endomórfico</b>	El <b>mesomorfismo</b> es dominante y el endomorfismo es mayor que el ectomorfismo.
<b>Mesomorfismo balanceado</b>	El <b>mesomorfismo</b> es dominante y el endomorfismo y ectomorfismo son iguales (no difiere en mas que 0.5)
<b>Meso-ectomórfico</b>	El <b>mesomorfismo</b> es dominante y el ectomorfismo es mayor que el endomorfismo
<b>Ectomorfo-mesomorfo</b>	El <b>ectomorfismo</b> y el mesomorfismo son iguales (no difieren en mas que 0.5), y el endomorfismo es menor.
<b>Ecto-mesomórfico</b>	El <b>ectomorfismo</b> es dominante y el mesomorfismo es mayor que el endomorfismo
<b>Ectomorfismo balanceado</b>	El <b>ectomorfismo</b> es dominante; el endomorfismo y el mesomorfismo son iguales y menores (o no difieren en mas que 0.5)
<b>Ecto-endomórfico</b>	El <b>ectomorfismo</b> es dominante, y el endomorfismo es mayor que el mesomorfismo
<b>Ectomorfo-endomorfo</b>	El <b>endomorfismo</b> y el ectomorfismo son iguales (o no difieren en mas que 0.5), y el mesomorfismo es menor.

**TABLA 2.** Categorías de los somatotipos, basadas en áreas de la somatocarta (De Carter & Heath, 1990).

Las 13 categorías de la Tabla 2 pueden simplificarse en cuatro categorías más grandes:

**CENTRAL:** ningún componente difiere en más de una unidad con respecto a los otros dos.

**ENDOMORFO:** el endomorfismo es dominante, el mesomorfismo y el ectomorfismo son mas de ½ unidad (0.5) mas pequeños.

**MESOMORFO:** el mesomorfismo es dominante, el endomorfismo y el ectomorfismo son mas de ½ unidad (0.5) mas pequeños.

**ECTOMORFO:** el ectomorfismo es dominante, el endomorfismo y el mesomorfismo son mas de ½ unidad (0.5) mas pequeños.

### 2.5.2 Somatotype Attitudinal Distance (SAD; o Distancia Posicional del SÓmatotipo) y Somatotype Attitudinal Mean (SAM; o Media Posicional del Somatotipo)

Los datos del somatotipo pueden ser analizados tanto por métodos estadísticos descriptivos y comparativos, tradicionales y no tradicionales. Con frecuencia, los análisis se han llevado a cabo usando solamente puntos X-Y, en vez del somatotipo tri-dimensional. Debido a que el somatotipo es una expresión de tres números, se pueden realizar análisis significativos sólo con técnicas especiales. Aquí sólo presentamos algunos de los análisis estadísticos descriptivos comúnmente utilizados para los análisis tri-

dimensionales. Para un desarrollo más completo, el estudiante debería remitirse a Carter y cols. (1983), y Cressie, Withers y Craig (1986). En este momento, son esenciales varias definiciones (Carter & Heath, 1990).

- **Somatopunto (5).** Punto en el espacio tri-dimensional, determinado a partir del somatotipo, el cual está representado por una tríada de coordenadas  $\langle x \rangle$ ,  $\langle y \rangle$ , y  $\langle z \rangle$ , para los tres componentes. Las escalas en los ejes de las coordenadas son unidades de los componentes con el somatotipo hipotético 0-0-0, en el origen de los tres ejes.
- **Distancia posicional del somatotipo (SAD o DPS).** Es la distancia, en tres dimensiones, entre dos somatopuntos cualquiera. Se calcula en unidades de componentes.
- **Media posicional del somatotipo (SAM o MPS).** Es la media de los valores de SAD de cada somatopunto, comparado desde el somatopunto medio (5) de una muestra. El SAD representa la distancia «real» en el espacio tri-dimensional entre dos somatopuntos (A y B). Se calcula de la siguiente manera:

$$SAD_{A,B} = \sqrt{[(\text{endomorfismo}_A - \text{endomorfismo}_B)^2 + (\text{mesomorfismo}_A - \text{mesomorfismo}_B)^2 + (\text{ectomorfismo}_A - \text{ectomorfismo}_B)^2]}$$

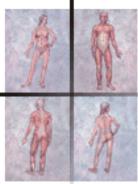
El SAM se calcula dividiendo simplemente la suma de los valores de SAD, a partir de su somatopunto medio, por el número de sujetos.

Por razones de espacio no podemos presentar con más detalle los análisis especiales para el somatotipo como un todo. De cualquier manera, estos detalles están incluidos en Carter, Ross, Duquet, y Aubry (1983), y en Carter y Heath (1990).

### 3. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Carter, J.E.L. (1980).  
**The Heath-Carter somatotype method.**  
San Diego: San Diego University Press.
- Carter, J.E.L., & Heath, B.H. (1990).  
**Somatotyping — development and applications.**  
Cambridge: Cambridge University Press.
- Carter, J.E.L., Ross, W.D., Duquet, W., & Aubry, S.P. (1983).  
Advances in somatotype methodology and analysis.  
**Yearbook of Physical Anthropology, 26,**  
193-213.
- Cressie, N.A.C., Withers, R.T. & Craig, N.P. (1986).  
Statistical analysis of somatotype data.  
**Yearbook of Physical Anthropology, 29,**  
197-208.
- Heath, B.H., & Carter, J.E.L. (1967).  
A modified somatotype method.  
**American Journal of Physical Anthropology, 27,** 57-74.
- Parnell, R.W (1958).  
**Behaviour and physique.**  
London: Edward Arnold Ltd.
- Sheldon, W.H. (with the collaboration of S.S. Stevens and W.B. Tucker) (1940).  
**The varieties of human physique.**  
New York: Harper and Brothers.
- Withers, R.T., Craig, N.P., & Norton, K.I. (1986).  
Somatotypes of South Australian male athletes.  
**Human Biology, 58,** 337-356.
- Withers, R.T., Whittingham, N.O., Norton, K.I. & Dutton, M. (1987).  
Somatotypes of South Australian female games players.  
**Human Biology, 59,** 575-584.

# CAPÍTULO 7



## ESTIMACIÓN ANTROPOMÉTRICA DE LA GRASA O ADIPOSIDAD

*Kevin Norton*

### 1. INTRODUCCION

Los perfiles antropométricos son comúnmente utilizados como base para evaluar el nivel de grasa corporal tanto en deportistas como en otros miembros de la comunidad en general. Existen distintas formas en las cuales las personas utilizan estas mediciones antropométricas básicas para cuantificar los niveles generales y regionales de grasa corporal. Sin embargo, con el tiempo, muchos de estos métodos han sido aplicados sin apreciar los errores y las Suposiciones asociadas con su uso.

Este uso no crítico de las estimaciones de la grasa corporal es una de las áreas con mayor abuso de la antropometría. Este capítulo apuntará a los principales problemas asociados con la estimación de la adiposidad, utilizando ecuaciones de regresión y sugerirá caminos para minimizar las inconsistencias en esta aplicación de la antropometría.

### 2. CAMBIOS EN LA GRASA CORPORAL A LO LARGO DE LA VIDA

Las reservas de grasa corporal cambian a lo largo de toda la vida en forma tal que, basados en una población, es bastante predecible, como se muestra en la Figura 1. Los datos transversales demuestran que desde niveles relativamente altos de adiposidad en el primer año de vida, las reservas de grasa subcutánea disminuyen lentamente hasta sus niveles más bajos entre los 6 y 8 años de edad (Tanner, 1978, pp. 17-19). Después, la grasa subcutánea aumenta progresivamente a lo largo de la mayor parte de los años de desarrollo, excepto por una notable caída alrededor de la explosión puberal (cerca de los 11 a 12 años en las niñas, y 14 a 16 años en los varones). A partir de este punto, las reservas de grasa subcutánea aumentan, alcanzando un pico durante la quinta década de vida para los hombres, y sexta para las mujeres, cayendo posteriormente a medida que avanza la edad. Esta última disminución en la adiposidad

externa es, probablemente, un resultado de mortalidad selectiva ya que se sabe que la adiposidad es un factor de riesgo para el desarrollo de numerosas enfermedades (ver Capítulo 12).

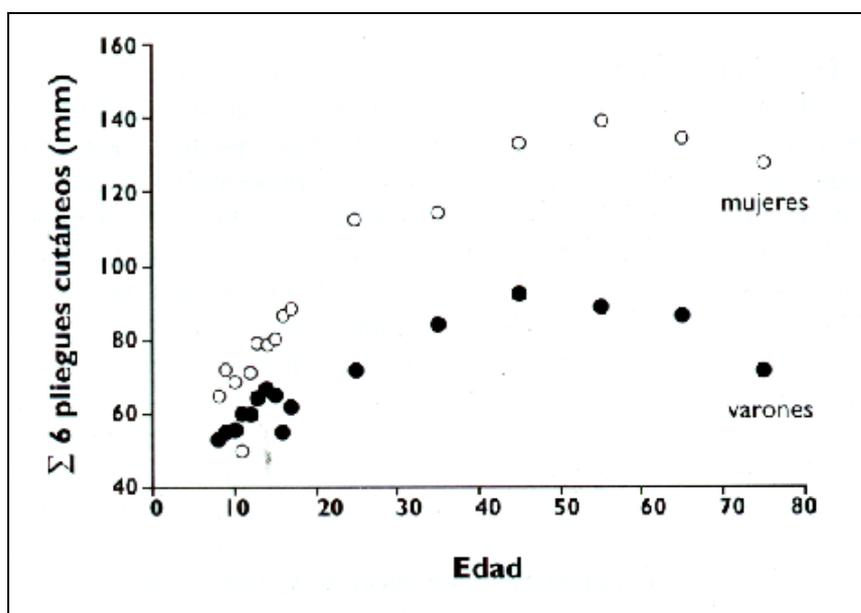
Debido a que la mayoría de la gente está preocupada acerca de su nivel de adiposidad, la estimación de las reservas de grasa corporal es un procedimiento común realizado en establecimientos tales, como centros de salud y gimnasios. En forma similar, la relación establecida entre exceso de adiposidad y disminución en la performance deportiva ha producido que la evaluación de la grasa se vuelva una parte integral de la preparación fisiológica de los deportistas. En ambos ejemplos, el método utilizado para determinar el nivel de grasa, normalmente incluye mediciones de pliegues cutáneos. A menudo, estas mediciones de los pliegues son luego utilizadas para predecir la grasa corporal total usando algunas de las numerosas ecuaciones de predicción disponibles en la literatura. Si se utiliza este método existen importantes suposiciones y limitaciones las cuales deben ser comprendidas por el evaluador con el fin de poder realizar una estimación equilibrada del nivel de grasa corporal. De esta forma, se puede brindar información significativa y apropiada a la persona que fue evaluada. Es este nivel de sofisticación el que se necesita para comprender la apreciación de los errores asociados con la conversión de los pliegues cutáneos medidos en la estimación de la grasa corporal total. Es precisamente la falta de tal conocimiento lo que ha provocado el deterioro de este procedimiento en el pasado, y lo sigue haciendo en la actualidad.

### 3. LA UTILIZACION DE ECUACIONES DE REGRESION PARA PREDECIR LA DENSIDAD CORPORAL Y LA GRASA CORPORAL

Es importante una medición precisa de la grasa corporal, por lo que se han desarrollado una variedad de métodos de evaluación (ver Capítulo 8). Este rango

de procedimientos va desde la estimación visual de la grasa corporal (Eckerson, Housh, & Johnson, 1992) hasta métodos con tecnología más sofisticada como el uso de la conductividad eléctrica total del cuerpo (Malina, 1987), el ultrasonido (Katch, 1983), y el "scanning" con rayos infrarrojos (McLean & Skinner, 1992), entre otros. Sin embargo, la mayoría de estos métodos requieren de un equipamiento costoso, de un tiempo considerable, junto con evaluadores experimentados y, por lo general, no son adecuados para evaluar grandes números de personas. Por el contrario, la evaluación de sitios antropométricos como el espesor de los pliegues cutáneos es segura, requiere de muchos menos gastos y tiempo, y puede utilizarse regularmente para controlar el progreso de

una persona ante un programa de entrenamiento y/o una intervención alimentaria. La medición de los pliegues brinda también tanto una evaluación relativamente precisa como directa de la cantidad de grasa subcutánea y, por lo tanto, tiene una validez considerable. Es decir, mide directamente el espesor de la piel y del tejido adiposo subyacente (predominantemente grasa). Como consecuencia de ello, la medición del espesor subcutáneo a encontrado aplicación en diversas disciplinas incluyendo la Anatomía, la Biomecánica, la Epidemiología, las Ciencias del Ejercicio, La Medicina, la Farmacia, y la Pediatría.



**FIGURA 1.** Cambios en la sumatoria de seis pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, supraespinal abdominal, y pantorrilla medial) a partir de los 7 años, y a lo largo de toda la vida. Los datos son transversales y fueron calculados a partir de la Base de Datos Antropométricos de Australia (AADBBase), 1995 ( $n \sim 3200$ ).

Sin embargo, los pliegues cutáneos son mediciones superficiales que, a través del tiempo, han sido asociados con procedimientos para estimar la adiposidad corporal total, incluyendo la grasa almacenada internamente alrededor de los órganos. Debido a que se sabe de los riesgos importantes asociados con los depósitos de grasa corporal ubicados como reservas profundas (tal como la grasa abdominal), el desafío ha sido cuantificar la grasa corporal total usando métodos simples y eficientes, en costos y tiempo. Por lo tanto, se supone que las mediciones de los pliegues externos representan no sólo la adiposidad subcutánea sino también las reservas de grasa interna. Esto ha llevado a una proliferación en el número de ecuaciones de regresión disponibles para llevar a cabo la transformación de las mediciones antropométricas superficiales a las

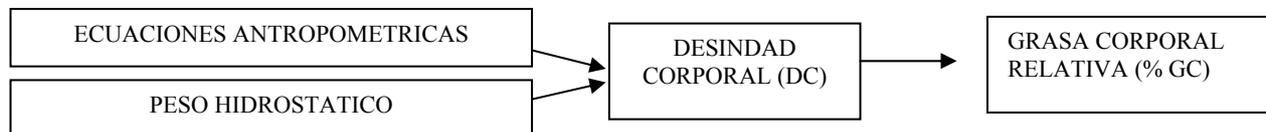
estimaciones de la grasa corporal total, normalmente expresada en porcentaje de grasa corporal (% GC). En el proceso de esta transformación es muy común que primero se haga la estimación de la densidad corporal total (DC), antes de estimar finalmente el % GC. También ha llevado a una cultura que probablemente sea demasiado familiar con el término "porcentaje de grasa corporal" sin entender las limitaciones de los métodos utilizados para predecirlo.

Los métodos de uso, ya sea de ecuaciones de regresión para predecir la DC y el % GC, como la medición de la DC directamente antes de estimar el % GC, pueden ser revisados en relación a las presunciones (y errores) introducidos, en tres etapas distintivas:

(1) Los errores asociados con la predicción de la DC a partir de los datos antropométricos; (2) la medición de la DC usando hidrodensitometría (peso hidrostático); y (3) los errores involucrados en la transformación de

la DC al % GC [es decir, un modelo de dos compartimentos, masa grasa (MG) y masa magra (MM) o masa libre de grasa, ver Capítulo 8]. Este enfoque está ilustrado en la Figura 2.

### 3.1 Desarrollo de ecuaciones de predicción antropométricas



**FIGURA 2.** Procedimiento general para estimar el % GC a partir de la DC. La DC puede medirse ya sea en forma directa (utilizando el peso hidrostático), o estimada utilizando antropometría de superficie.

Existen más de 100 ecuaciones disponibles en la literatura científica para la predicción de la DC (y consecuentemente, del % GC), a partir de las mediciones antropométricas. Algunas de las ecuaciones más comúnmente utilizadas, que también están conformes con las descripciones de los sitios antropométricos presentados en el Capítulo 2, están incluidas en el Apéndice. Debido a que estas ecuaciones son específicas para una población, quien las implemente debería saber que la población evaluada debería ser similar a aquella en la cual la ecuación original fue desarrollada. Las similitudes en edad, promedio de adiposidad, y niveles de actividad física de las poblaciones original y experimental (y el sexo correcto) son más apropiadas cuando se utilizan estas ecuaciones de predicción. Además, el antropometrista debería asegurarse una congruencia absoluta entre los puntos anatómicos utilizados en el estudio original y aquellos a usar en la población experimental. De ser posible, se debería utilizar el mismo tipo de calibre para pliegues cutáneos que el descrito en el reporte original.

La mayoría de las ecuaciones de predicción son desarrolladas usando métodos de laboratorio como la densitometría hidrostática. El procedimiento incluye la medición de la DC de un grupo de sujetos en el laboratorio utilizando la técnica del peso hidrostático, basada en el principio de Arquímedes. El mismo establece que cuando un cuerpo se sumerge en un líquido, experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del líquido desalojado. Debido a que la densidad de un objeto se define como su peso por unidad de volumen, entonces la DC se puede determinar si se conoce el peso del sujeto en el aire y cuando está completamente sumergido en el agua:

$$DC = \frac{\text{peso}(gr)}{\text{volumen}(cm^3)}$$

$$DC = \frac{\text{peso del cuerpo en el aire (gr)}}{\text{Peso del cuerpo (gr) - peso del cuerpo en el agua (gr)}}$$

Se realizan posteriores ajustes para tener en cuenta la densidad del agua y el volumen residual del sujeto, de manera que la ecuación final es:

$$DC = \frac{\text{Peso del cuerpo en el aire (gr)}}{\text{Peso del cuerpo (gr) - peso del cuerpo en el agua (gr)} - \text{volumen residual} \times \text{densidad del agua}}$$

La DC calculada (gr.cm<sup>3</sup>) se vuelve entonces la variable dependiente “y”, mientras que una serie de mediciones antropométricas tomadas en el sujeto, inmediatamente antes del peso hidrostático, se transforman en variables independientes “x1”, “x2”, “x3”,...etc., y se usan para predecir “y”. Luego se desarrolla una ecuación de regresión múltiple para predecir la DC a partir de la mejor combinación (de más peso) de variables antropométricas (por Ej., varios pliegues cutáneos, y posiblemente otras variables como perímetros y diámetros óseos).

Entonces, hay distintas ecuaciones disponibles para estimar el % GC a partir de la DC. Estas transformaciones son posibles debido a investigaciones previas (Brozek, Grande, Anderson, & Keys, 1963; Siri, 1961, pp. 108-117) que han utilizado cadáveres para calcular las densidades y las proporciones relativas de los componentes químicos (agua, proteínas, minerales óseos y minerales no

óseos) de los distintos tejidos corporales. La ecuación más frecuentemente utilizada es la propuesta por Siri (1961), en donde:

$$\%GC = \frac{495}{DC} - 450$$

Esta ecuación supone que las densidades de la MM y la MG son de 1.1000 y 0.9000 gr.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Desafortunadamente, las densidades determinadas a partir de los estudios originales con cadáveres fueron aplicadas uniformemente en la población entera, sin tener en cuenta la considerable variación individual en las proporciones y densidades de estos tejidos.

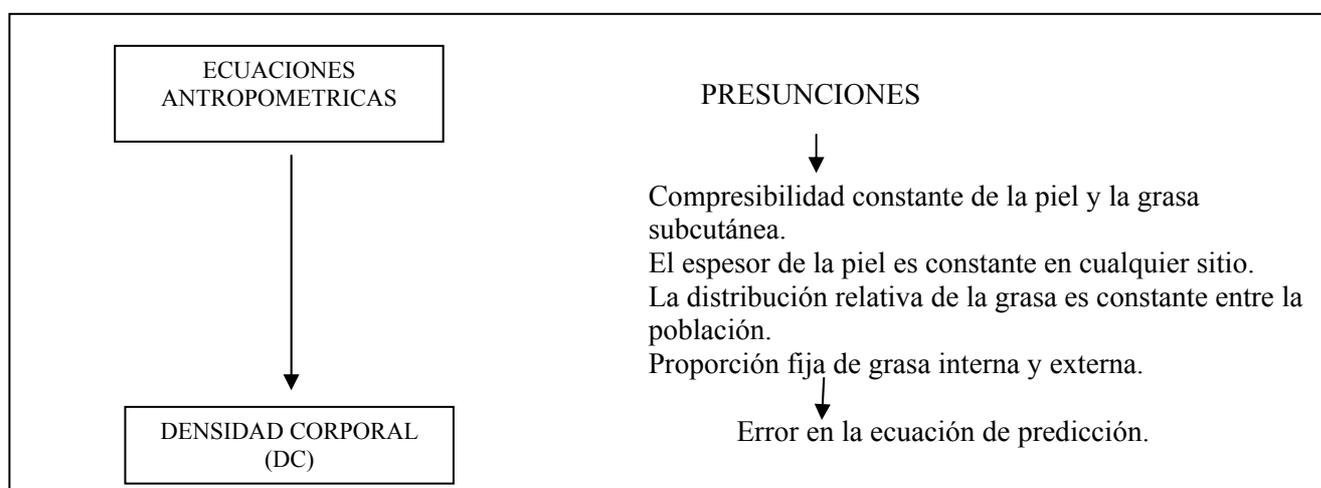
Por lo tanto, puede haber un error sustancial asociado con el uso de las ecuaciones de predicción basadas en la antropometría para estimar el % GC. El error incluye tanto el error en la predicción de la DC a partir de ecuaciones de regresión, como el error biológico en la transferencia de la DC a un valor de % GC. Si la DC se mide en el laboratorio, entonces el error de predicción de la ecuación de regresión es reemplazado por el error de medición (normalmente menor). A continuación se resumen las presunciones y errores asociados, erados en estos procedimientos.

### 3.2 Error en la ecuación de predicción

Debido a que se ha mostrado que los pliegues cutáneos son los predictores antropométricos mas poderosos de la DC y del % GC, ellos son los elementos antropométricos fundamentales utilizados en las ecuaciones de regresión. Cuando se utilizan estas ecuaciones para predecir la DC, se introduce el

error debido a la violación de al menos tres presunciones, tal como se muestra en la Figura 3.

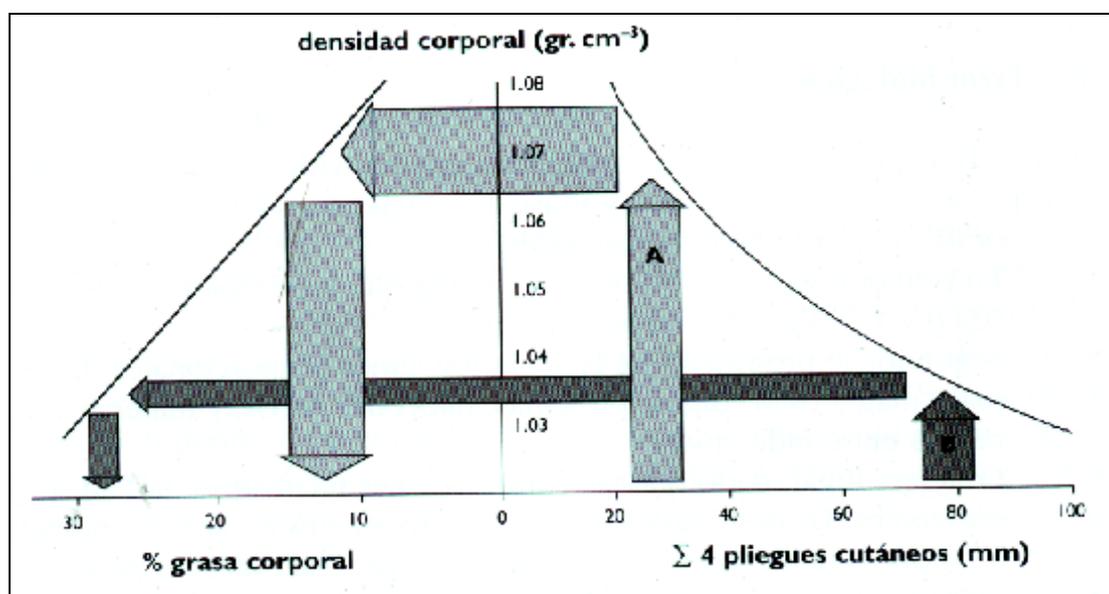
- En primer lugar, se presume que hay una compresibilidad constante de la piel y grasa subcutánea, y que el grosor de la piel en cualquier sitio no es variable a través de toda la población. Se ha observado que la compresibilidad de la piel varía hasta el doble, en análisis cadavéricos (Martin, Ross, Drinkwater, & Clarys, 1985), y se sabe que el espesor de la piel varía entre la población, siendo mayor en los hombres que en las mujeres y que disminuye con la edad (Clarys, Martin, Drinkwater, & Marfell-Jones, 1987). Por lo tanto, estos factores son claramente fuentes de posible error (Martin y cols., 1985).
- En segundo lugar, debido a que sólo se miden unos pocos pliegues cutáneos, no se tienen en cuenta los patrones individuales de distribución de la grasa cuando se predice la adiposidad corporal total. Por lo tanto, se presume que los pliegues seleccionados son representativos de la masa grasa subcutánea del cuerpo. Entonces, es aconsejable incluir una selección de pliegues en la ecuación para predecir la DC y el %GC que incluyan la parte alta y baja del cuerpo, el tronco, y las extremidades.
- En tercer término, la relación entre espesor del pliegue y grasa corporal total, a menudo, se presume como lineal. La grasa corporal total está, por lo tanto, siendo predicha en base a una proporción fija de grasa interna y externa donde la grasa externa es cuantificada a través de la medición de un pequeño número de pliegues cutáneos seleccionados. La relación entre la masa grasa subcutánea y la masa grasa corporal total podría (Martin y cols., 1985) o no tener una relación lineal (Roche, 1987).



**FIGURA 3.** Presunciones asociadas con la estimación antropométrica de la DC, resultante en un error en la ecuación de predicción.

Cuando los cadáveres fueron examinados para investigar los patrones de grasa corporal, el porcentaje de grasa subcutánea en relación a la grasa corporal total varió de 20 a 70 %, de acuerdo a factores tales como la edad, grado de adiposidad, sexo, y técnica de medición (Allen y cols., 1956; Brodie, 1988a, 1988b; Brown & Jones, 1977; Chien y cols., 1975; Keys & Brozek, 1953). El cociente entre grasa interna/externa aumenta con la edad, es mayor en las mujeres (Brodie, 1988a, 1988b), y podría disminuir (Allen y cols., 1956) o permanecer igual (Martin y cols., 1985) en relación al nivel de adiposidad. Jackson y Pollock (1982), por ejemplo, desarrollaron una ecuación generalizada para predecir el % GC en base a una relación no lineal entre los cambios en las sumatoria de pliegues y los cambios correspondientes en la DC medida. Su ecuación fue la ecuación cuadrática e mejor ajuste y podría reflejar el efecto de una mayor

cantidad relativa de grasa localizada externamente, a medida que aumenta la adiposidad (Allen y cols., 1956). También podría indicar que las personas más obesas tienden a tener componentes más densos en la MM (por ej., los huesos). Sin embargo, hay un mayor contenido de grasa en el tejido adiposo con el aumento en la adiposidad corporal total (Martin y cols., 1985), lo cual tendería a negar estos efectos. Cualquiera sea la causa, una determinada disminución en el espesor de los pliegues cutáneos resulta en un mayor aumento en la DC, ya que la suma de los pliegues es menor (por ej., una persona más magra). Por lo tanto, una determinada disminución en la grasa subcutánea no resulta en un aumento constante en la DC. Este fenómeno se muestra, a continuación, en la Figura 4.



**FIGURA 4.** Ejemplo de la disminución en el porcentaje estimado de CC para una disminución de 10 mm en el espesor de los pliegues cutáneos, en dos personas que difieren en la adiposidad corporal.

En esta figura, dos personas con distinta adiposidad, pierden ambas 10 mm de la  $\Sigma 4$  pliegues cutáneos. El sujeto A comienza con un nivel más bajo de adiposidad en comparación con el sujeto B, por lo tanto hay un mayor aumento estimado en la DC, y consecuente reducción en el % GC. Esto puede ser muy desconcertante para el individuo con sobrepeso al que, dada la misma disminución en el nivel absoluto de la  $\Sigma 4$  pliegues, se le dice (quizás) que el % GC se alteró solamente en 2 o 3 %.

Se ha observado que la variancia en la compresibilidad de los pliegues, el espesor de la piel, el (contenido graso en el tejido adiposo, la proporción

entre las reservas internas y externas de grasas, y los patrones de grasa externa dentro de la población, pueden causar grandes errores en la predicción de la DC a partir de los pliegues cutáneos. Se ha observado que los errores introducidos cuando se utilizan las ecuaciones de regresión múltiple para predecir la DC varían en más del doble, en casos extremos (Lohman, 1981; Lohman, Pollock, Slaughter, Brandon & Boileau, 1984; Withers, Norton, Craig, Hartland & Venables, 1987; Withers y cols., 1987).

A partir de las ecuaciones de estimación más precisas, Withers, Craig, y cols. (1987), y Withers, Whittingham, y cols. (1987), utilizando deportistas,

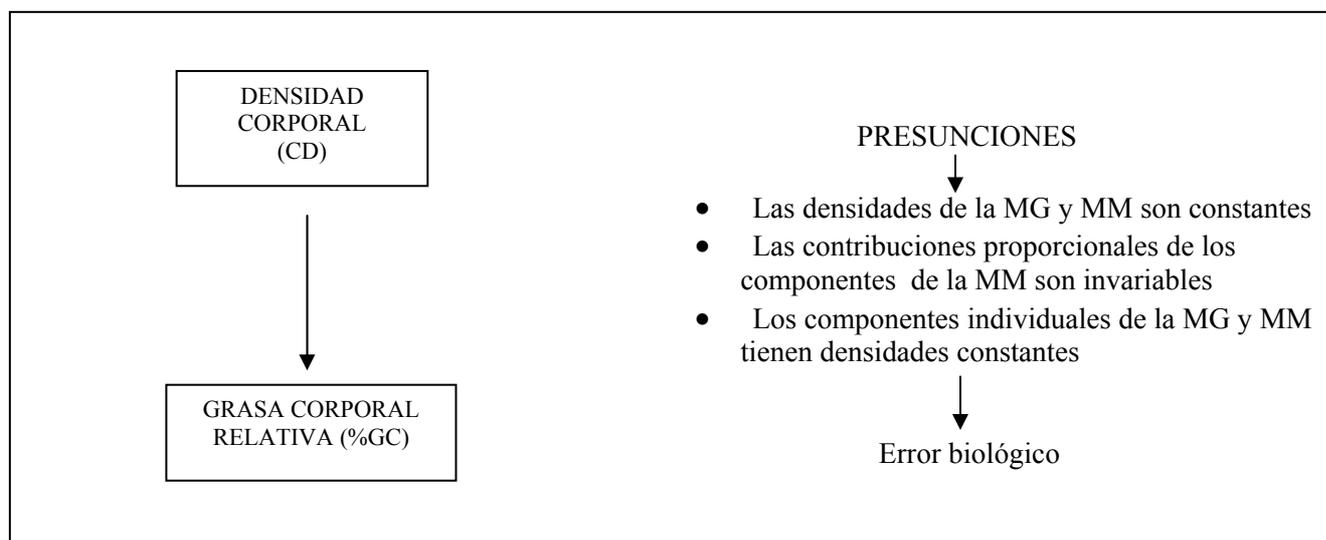
reportaron errores de predicción de la DC (Error de Estimación Standard; SEE) de 0.00533 y 0.00508  $\text{gr.cm}^{-3}$ . Estos datos fueron equivalentes a un error de 2.4 y 2.3 % GC para ecuaciones desarrolladas en estos atletas de alto rendimiento, mujeres y varones, respectivamente. Otros estudios con grupos de deportistas también han indicado errores de predicción relativamente pequeños, que varían entre 0.0061 y 0.0080  $\text{gr.cm}^{-3}$  (2.7-3.6 % GC) en gimnastas y corredores de larga distancia, respectivamente (Lewis, Haskell, Perry, Kovacevic, & Wood, 1978; Sinning, 1978). En grupos no deportivos, este error normalmente es mayor, y varía entre 0.0057 y 0.0125  $\text{gr.cm}^{-3}$  (2.6-5.9 % GC) de acuerdo a factores tales como la técnica de medición y la homogeneidad de la muestra (Withers, Norton, y cols., 1987; Womersley, Durnin, Boddy, & Mahaffy, 1976). A pesar de la naturaleza problemática de la predicción de la DC a partir de variables antropométricas, muchas ecuaciones de predicción aún gozan de una aplicación muy difundida (por ej., Durnin & Womersley, 1974), si bien normalmente incluyen errores de predicción relativamente grandes.

### 3.3 Error biológico

El error biológico se debe a la variabilidad interindividual en la composición y densidad de la MM (predominantemente hueso y músculo). Cualquier violación a las siguientes presunciones contribuye, por lo tanto, a este error:

- En primer lugar, se presume y se acepta que las densidades de las MG y MM es de 0.900 y 1.100  $\text{gr.cm}^{-3}$ , respectivamente.
- Segundo, se presume que las contribuciones proporcionales de los componentes de la masa magra (MM) (agua, proteínas, minerales óseos, y minerales no óseos) son invariables entre individuos.
- En tercer lugar, dado que las contribuciones relativas de la MM se presume que son constantes, las densidades de estos componentes de la MM, individualmente o por separado, también deben ser constantes (para satisfacer el primer punto, enunciado arriba).

Estas presunciones y los errores resultantes se ilustran en la Figura 5.



**FIGURA 5.** Presunciones asociadas con la estimación del % CC a partir de la DC, resultante en error biológico

Las presunciones subyacentes a la derivación de las ecuaciones utilizadas para predecir el % GC a partir de la DC (Sin, 1956) son aplicables para cualquier población, independientemente de la edad, el sexo, el nivel de entrenamiento, y el origen étnico. La investigación original utilizada en la elaboración de la ecuación para permitir la transformación de la DC a % GC se basó en la disección de tres cadáveres

solamente (Brozek y cols., 1963), con una edad promedio de 65 años.

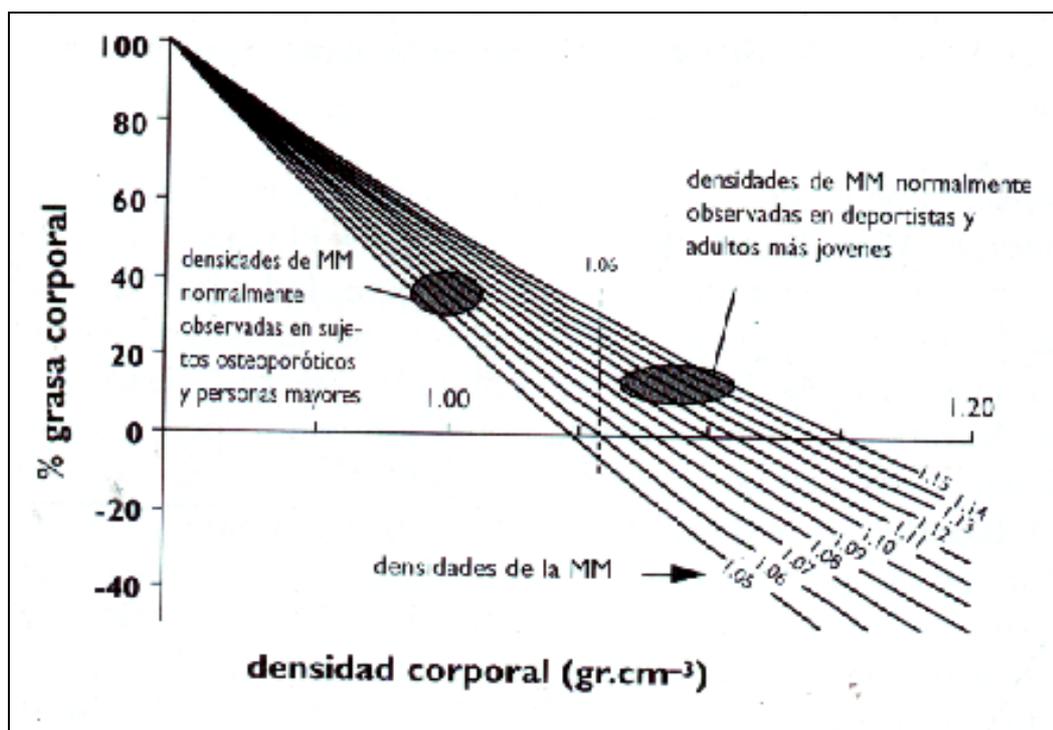
La densidad de la MG varía poco en las distintas poblaciones de seres humanos y otros mamíferos (Allen, Krzywicki, & Roberts, 1959; Fidanza, Keys, & Anderson, 1953). El tejido adiposo en los seres humanos tiene una densidad media de 0.900  $\text{gr.cm}^{-3}$  y un desvío standard de 0.00103  $\text{gr.cm}^{-3}$ , a 37 grados C.

Sin embargo, existe una considerable variabilidad interindividual en la densidad de la MM. Análisis cadavéricos más recientes han subrayado el grado de variación dentro de una población con respecto a las proporciones de masas ósea, muscular, y residual que componen la MM (Clarys, Martin, & Drinkwater, 1984; Martin y cols., 1985). Basados en la disección de 25 cadáveres, Clarys y cols. (1984) reportaron que la proporción del peso magro, compuesto por músculos, estaba entre el 41.9 y 59.4 %, mientras que para los huesos estaba entre el 16.3 y 25.7 %. El coeficiente de variación de la densidad muscular fue sólo del 1 % aproximadamente, pero la densidad de la masa ósea varió considerablemente dentro y entre individuos (Ross y cols., 1984). Esto llevó a la conclusión que la densidad de la MM, probablemente, varía con un desvío standard de  $0.02 \text{ gr.cm}^3$  (Martin, Drinkwater, Clarys, & Ross, 1986). Clarys y cols. (1984) utilizaron cadáveres de edad similar (media  $\pm$  DS = 76  $\pm$  9 años, rango 55-94 años) a los analizados por Brozek y cols. (1963), lo cual podría hacer que las generalizaciones para poblaciones más jóvenes sean inapropiadas. Es probable que las poblaciones más jóvenes y sanas sean mucho más homogéneas con respecto a las densidades y proporciones relativas de los tejidos que componen la MM, en comparación con las de poblaciones más añosas y enfermas.

La transformación de la DC a % GC involucra, por lo tanto, algunos problemas potencialmente serios. Por ejemplo, en promedio, los deportistas tienen huesos y músculos más densos

(Adams, Mottola, Bagnall, & McFadden, 1982; Chulichek, Sale, & Webber, 1995; Martin & Colloch, 1987) lo cual lleva a una subestimación

del % GC (Wilmore, 1983). Este error también ocurrirá si la proporción de hueso en el cuerpo se incrementa. Estos factores podrían ayudar a explicar los valores extremadamente bajos que se han reportado, incluyendo valores negativos para el % GC, en jugadores profesionales de fútbol americano (Adams y cols., 1982) y en corredores de fondo (Behnke & Wilmore, 1974). Por el contrario, los individuos mayores que han disminuido la densidad ósea a causa de la desmineralización ósea o pérdida de hueso (como en el caso de la osteoporosis), tendrán una sobreestimación de su nivel de grasa corporal. Estos errores se remarcan en la Figura 6, mostrando el rango de densidades de MM normalmente encontrado en poblaciones generales y específicas, y su efecto sobre los niveles predictivos de grasa corporal. Esta figura sigue la lógica que, más que una sola y simple línea que describe la relación entre DC y % GC (tal como la descrita por la ecuación de Siri), hay muy probablemente una «familia» de curvas como se muestra en la figura (basadas en las presentadas por Martin y cols., 1986). Por lo tanto, de acuerdo a factores tales como el estado de entrenamiento, y la presencia o ausencia de enfermedad, una persona podría ser ubicada en cualquiera de un número de curvas. Si, por ejemplo, la relación real colocara a una persona en la curva de densidad de MM de 1.07, mientras que la ecuación de Siri presume 1.10  $\text{gr.cm}^3$ , entonces una DC medida de, digamos 1.06  $\text{gr.cm}^3$ , resultaría en un porcentaje real de GC del 5 %, en comparación con el 17 % estimado por Siri. Observar que una diferencia determinada entre las densidades real y supuesta de MM produce un mayor error absoluto para las personas con una alta DC (o bajo % GC como los deportistas o adultos jóvenes magros), en comparación con individuos obesos con baja DC.



**FIGURA 6.** Efecto de las alteraciones en la densidad de la masa magra (MM) sobre las estimaciones subsiguientes del CC, utilizando la ecuación de Siri (1961), en un rango de densidades corporales. La línea vertical a una DC 1.06 cm se refiere al ejemplo discutido en el texto.

No es sorprendente que se haya desafiado la precisión de las transformaciones de la DC a % GC (Womersley y cols., 1976; Martin y cols., 1986). Siri (1961), por ejemplo, estimó que el error en la transformación de DC a % GC involucraba un desvío standard de  $0.0084 \text{ gr.cm}^3$  (~ 3.7 % GC) en la población total. Lohman (1981) formuló la hipótesis de que este desvío podría ser algo menor, cerca de  $0.006 \text{ gr.cm}^3$  (~ 2.6 % GC) en muestras relativamente homogéneas, tales como atletas altamente entrenados, donde la variación interindividual en la densidad de la MM es menor que entre la población en general. Por lo tanto, la utilidad de predecir el % GC ha aumentado por el desarrollo de ecuaciones para deportes y para poblaciones específicas. Se han desarrollado ecuaciones para distintos grupos específicos, incluyendo corredores de fondo (Pollock y cols., 1977), gimnastas (Sinning, 1978), deportistas varones (Withers, Graing, y cols., 1987), deportistas mujeres (Withers, Whittingham, y cols., 1987), y una variedad de otros subgrupos (ver Brodie, 1988a, 1988b, para una revisión).

### 3.4 Error de medición en la densitometría hidrostática

Cuando se utiliza el peso hidrostático para medir la DC, el error de medición o técnico por lo general es pequeño. Durnin y Taylor (1960) han estimado que el error de medición de esta técnica es aproximadamente

de  $0.0020 \text{ gr.cm}^3$  (~ 0.9 % GC), y depende de distintas características del sistema utilizado para obtener la DC. Los dos más importantes son la medición (o estimación) de gases en el sistema respiratorio cuando se toma el peso, y el peso del deportista cuando se sumerge (Withers, 1983). Una medición directa del volumen pulmonar del deportista durante la inmersión, utilizando técnicas como la dilución de helio o el lavado de nitrógeno, producirá menores errores en la medición de la DC que cuando el volumen pulmonar es estimado a partir de mediciones antropométricas, o cuando se presume un volumen constante para todos los sujetos (Withers, Borkent, & Ball, 1990). Sin embargo, las mediciones del volumen pulmonar requieren de equipamiento especializado y de considerable experiencia técnica y, por lo tanto, normalmente es predicho a partir del tamaño corporal. Otros posibles factores contribuyentes al error de medición incluyen la precisión para obtener la temperatura del agua y el peso del deportista en el aire (Withers, 1983).

### 3.5 Error total

Si se presume que las variancias de error discutidas anteriormente son independientes y aditivas, entonces se puede calcular el SEE para la estimación del % GC, tanto a partir de ecuaciones de predicción como de la DC medida. Dado que Siri (1961) estimó que el

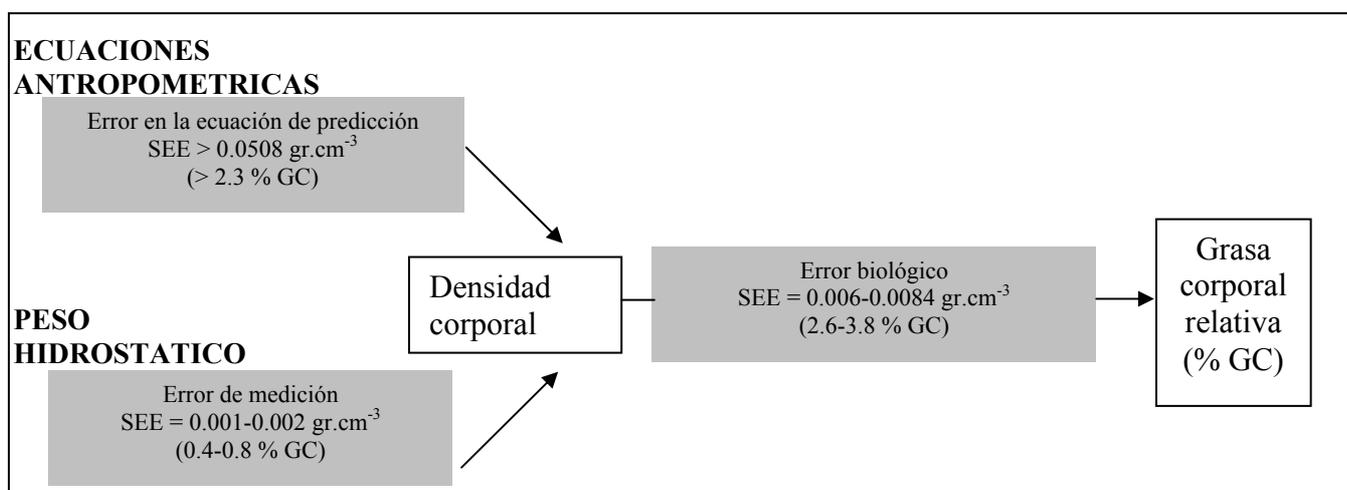
desvío standard del error biológico podría llegar hasta  $0.0084 \text{ gr.cm}^{-3}$  (~ 3.6 % GC) en la población en general, lo cual más tarde fue ajustado a  $0.006 \text{ gr.cm}^{-3}$  (~2.6 % GC) para muestras homogéneas (Lohman, 1981), entonces el error total (ecuación de regresión y error biológico) utilizando la mejor ecuación de predicción de Withers, Craig, y cols., (1987) para varones, podría ser

$$\text{Error total} = \sqrt{0.00508^2 + 0.006^2 \text{ gr.cm}^{-3}}$$

o igual a aproximadamente 3.4 % GC en la media. De forma similar, si se mide la DC, entonces el error total (error técnico y biológico), podría ser

$$\text{Error total} = \sqrt{0.002^2 + 0.006^2 \text{ gr.cm}^{-3}}$$

o aproximadamente 2.7 % en la media (Lohman, 1981). Por lo tanto, la DC medida, lleva a una estimación más precisa de la MG, en comparación con el uso de aún la mejor ecuación de regresión basada en la antropometría, actualmente disponible. Este error se puede reducir aún más, hasta casi 2.6 %, a través de cuidadosos procedimientos técnicos (Norton, Craig, Withers, & Whittingham, 1994; Withers, Cnaig, y cols., 1987). Sin embargo, éste es probablemente el límite de precisión utilizando estas técnicas. El análisis del error está resumido en la Figura 7.



**Figura 7.** Errores asociados con la estimación del % GC, a partir de mediciones antropométricas y a partir del peso hidrostático

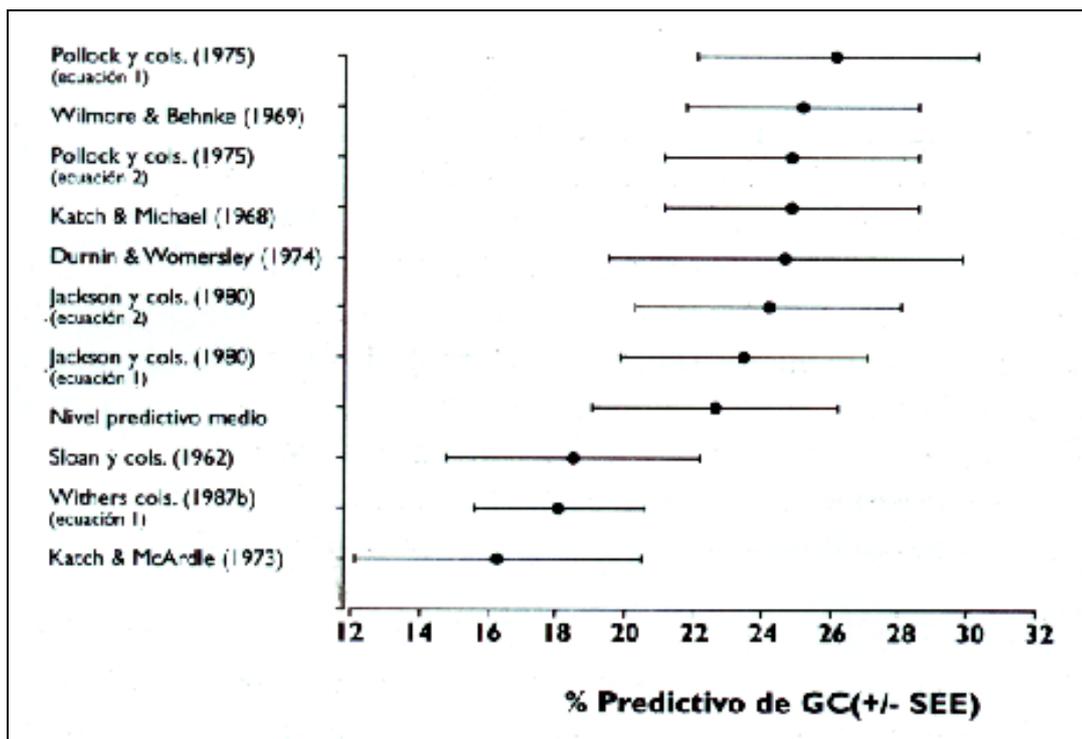
Nro. Test  
 Nombre: **BROWN, LISA**  
 Fecha de nacim.: **2/7/72**  
 Fecha evaluación: **5/6/94**  
 Código posterior del sujeto: **2223**  
 Sexo: M  F   
 País de nacimiento: **AUSTRALIA**  
 Altura de la caja: \_\_\_\_\_  
 Peso (kg): **58.3** Talla (cm): **167.3**

Lab: ID del evaluador  :   
 Deporte: **CORREDORA RECREACIONAL**

Intensidad	Frecuencia	Duración
Muy baja	$\leq 2$	$< 3$
Caminata	$> 3$	3-12
Intensa		$> 12$

	Nro.	Sitio	Medic. 1	Medic. 2	Medic. 3	Mediana
<b>PLIEGUES CUTANEOS (mm)</b>	1	Tríceps				13.5
	2	Subescapular				10
	3	Bíceps				5.4
	4	Cresta iliaca				9.8
	5	Supraespinal				6.1
	6	Abdominal				8.9
	7	Muslo (frontal)				34.4
	8	Pantorrilla medial				12.4
	9	Axila medial				6.7
<b>PERIMETROS (cm)</b>	10	Cabeza				55.3
	11	Cuello				32.7
	12	Brazo (relajado)				25.8
	13	Brazo (flexionado en tensión)				26.9
	14	Antebrazo (máximo)				24.9
	15	Muñeca (estiloides distal)				15.3
	16	Tórax (mesoesternal)				97.8
	17	Cintura (mínima)				73.3
	18	Glúteos (cadera, max)				99.4
	19	Muslo (1 cm del glúteo)				54.1
	20	Muslo (medial tro-tib-lat)				49.4
	21	Pantorrilla (máximo)				36.2
	22	Tobillo (mínimo)				23.3
<b>LONGITUDES (cm)</b>	23	Acromial-radial				30.8
	24	Radial-estiloidea				24.5
	25	Medioestiloidea-datiloidea				18.4
	26	Altura illoespinal				91.8
	27	Altura trocantérea				83.7
	28	Trocantérea-tibia lateral				39.8
	29	Tibia lateral hasta el piso				45
	30	Tibia medial-maleolar medial				36.1
	31	Biacromial				37.7
<b>DIAMETROS LONGITUDES (cm)</b>	32	Biillocrestídeo				29.2
	33	Longitud del pie				23.8
	34	Talla sentado				90.7
	35	Tórax transverso				27.6
	36	Tórax antero-post.				18.5
	37	Húmero				6.59
	38	fémur				9.53
<b>SITIOS DEPORTIVOS ESPECIFICOS</b>	39					
	40					
	41					
	42					

FIGURA 8. Detalles del sujeto para un perfil antropométrico completo.



**FIGURA 9.** Resultados de la predicción del % GC del sujeto cuyos detalles se muestran en la Figura 8. Los resultados representan los valores medios  $\pm 1$  error standard de la estimación (SEE), tal como fue reportado por los autores originales (ver Apéndice). También, como referencia, se muestra la media general ( $\pm$  DS) del % GC estimado.

#### 4. APLICACION DE LAS ECUACIONES DE PREDICCIÓN

Para mostrar el posible rango de valores estimados de DC y % GC se presenta el siguiente ejemplo. Consideremos la persona cuyos detalles antropométricos se muestran en la proforma antropométrica (Figura 8).

Basados en los en los sitios de medición evaluados, y en el sexo del sujeto y en otras informaciones demográficas tales como su edad y nivel de actividad física, se puede llevar a cabo un análisis para predecir la DC y el % GC utilizando un número de ecuaciones compatibles, seleccionado de la literatura. Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 9. Las ecuaciones específicas utilizadas, junto con otras que tienen descripciones de los puntos anatómicos esencialmente equivalentes a las señaladas en este libro, se presentan en detalle, al final de este capítulo.

Esta figura muestra el rango de «scores» o valores del % GC calculado predictivamente para un mismo sujeto. Se estimó que esta joven tenía, en promedio,  $22.7 \pm 3.7$  % GC. Sin embargo, los niveles estimados variaron, según las distintas ecuaciones, desde un porcentaje bajo del 16.3 % hasta uno elevado

del 26.2 % GC. Cuando es expresado en términos relativos, esto representa un rango de 44 % del valor medio estimado de todas las ecuaciones. Observar que esto no tiene en cuenta el SEE alrededor de los niveles individuales del % estimado de GC. Por ejemplo, supongamos que hay distintas ecuaciones posibles para elegir (como se muestra en la Figura 9), y que cualquiera de estas ecuaciones se elige al azar. En el peor de los casos ( $\pm 2 \times$  SEE) podría resultar en un posible rango de valores «reales» de % GC entre 7.9 y 34.4 % GC [es decir, desde el valor medio predictivo más bajo (menos  $2 \times$  SEE) hasta el valor medio predictivo más alto (más  $2 \times$  SEE)]. Pon lo tanto, si se utiliza una ecuación de predicción, es aconsejable reportar el nivel estimado de % GC  $\pm$  un rango de error, quizás usando  $1 \times$  SEE para la ecuación que se ha elegido.

#### 5. EL CONTROL O MONITOREO DE LOS PLIEGUES CUTANEOS Y OTROS INDICES DE COMPOSICION CORPORAL

Un procedimiento confiable y relativamente simple para monitorear los niveles intraindividuales de GC se logra midiendo, en forma rutinaria, el grosor de los

pliegues cutáneos sin una posterior transformación a % GC.

La evaluación del peso corporal y del grosor de los pliegues, a menudo, es adecuada para el control del nivel de GC de un individuo. Esta metodología ha sido utilizada durante varios años en deportistas de alto rendimiento en institutos deportivos en toda Australia (Craig y cols., 1993; Telford, Tumilty & Damm, 1984). El procedimiento elimina el error en la transformación del grosor de los pliegues (mm) a una estimación de la DC ( $\text{gr.cm}^3$ ), y finalmente a la predicción del % GC.

Recientemente, se han preparado tablas normativas para la sumatoria de pliegues cutáneos en deportistas australianos (Norton y cols., 1994). Sin embargo, debido a que utilizando este método no se puede hacer una estimación de la masa grasa a perder, no ha resultado la elección más deseable para los profesionales en el área de la salud y el «fitness». Para aquellos que adoptan esta técnica se recomienda una serie de sitios de pliegues, de modo de reducir los posibles problemas debidos a los patrones individuales de adiposidad (reducción desigual de grasa/aumento en sitios específicos) durante los cambios de peso. Se cree que estos patrones individuales de reducción y aumento están relacionados con diferencias regionales en la sensibilidad de los adipocitos a las hormonas lipolíticas (Smith, Hammersten, Bjorntonp, & Kral, 1979). Posiblemente, ésta sea la razón por la cual muchos individuos tienen dificultad en reducir los depósitos de grasa en sitios específicos.

Es recomendable que los profesionales de la salud y del «fitness» desarrollen su propia base normativa de datos para pliegues cutáneos (y otras variables antropométricas). Esta información puede utilizarse luego como guía cuando se asesora a los individuos interesados en su nivel de adiposidad corporal.

## 6. RESUMEN

El antropometnista dispone de distintas opciones para cuantificar el nivel de grasa corporal que tiene un individuo. Para la mayoría de las personas, es suficiente reportar simples sumatorias de los pliegues cutáneos. Sin embargo, todavía se lleva a cabo, con

frecuencia, la transformación de los pliegues a DC y luego a % GC. Esto se debe a que:

- No hay pérdida de información cuando se convierten los pliegues a DC y % GC.
- Las estimaciones de la masa grasa sólo se pueden realizar utilizando este procedimiento.
- A menudo, es una importante herramienta pedagógica para mostrar la relación entre las mediciones antropométricas superficiales y las reservas totales de grasa corporal.
- En la medida que se utilizan procedimientos antropométricos consistentes, es sensible a cambios como resultado de intervenciones alimentarias y/o de entrenamiento.

El error señalado en este capítulo, durante la transformación de las mediciones antropométricas a % GC debe ser considerado y retransmitido al sujeto a través de un rango de porcentaje estimado de GC. Es recomendable que las personas que utilicen estos procedimientos reporten un rango de % GC estimado igual a la media predictiva  $\pm 1$  DS, para la DC y % GC, en la misma forma que se sugiere para la precisión de mediciones repetidas de los pliegues cutáneos.

## 7. APENDICE - ECUACIONES DE PREDICCIÓN

A continuación se presenta un resumen de las ecuaciones de predicción de la DC, encontradas en la literatura científica. No es una lista completa, pero identifica algunas de las ecuaciones de predicción más comúnmente utilizadas. Todas las ecuaciones presentadas utilizan variables antropométricas independientes cuyos sitios son esencialmente equivalentes a los presentados en el Capítulo 2. En algunos casos, las descripciones originales utilizan una terminología levemente diferente, si bien los puntos anatómicos son los mismos. Para estas ecuaciones se ha sustituido la terminología utilizada a lo largo de este libro. El lector debería conocer que los detalles que se desarrollan a continuación podrían determinar lo apropiado de utilizar cualquiera o cualquier grupo de ecuaciones de predicción para un individuo.

<b>Referencias</b>		
<b>Durnin &amp; Womersley (1974), n = 209 varones:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media+/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	-	17.0-72.0
Altura (cm)	-	150.0-193.0
Peso (kg)	-	49.8-121.4
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	-	0.990-1.087
% GC (Siri, 1961)	-	5.0-50.0
Grupo étnico:		no especificado
País:		Escocia
Características de la muestra		Los sujetos fueron deliberadamente seleccionados para representar una variedad de tipos corporales (voluntarios de una clínica de obesidad, clubes locales de salud, organizaciones deportivas, compañías de ballet, y otras fuentes).
Calibre utilizado para PC:		Harpden
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>	<b>R</b>	<b>SEE</b>
DC = 1.1765 - 0.0744 (log <sub>10</sub> X <sub>1</sub> )	0.7-0.9	0.0103
Donde, X <sub>1</sub> (mm): Σ4 pliegue cutáneos (triceps, bíceps, subescapular, cresta aliaca, en mm)		

<b>Durnin &amp; Womersley (1974), n = 227 mujeres:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	-	16.0-68.0
Altura (cm)	-	146.0-178.0
Peso (kg)	-	42.3-121.5
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	-	0.968-1.078
% GC (Siri, 1961)	-	10.0-61.0
Grupo étnico:		no especificado.
País:		Escocia.
Características de la muestra:		Igual que la de los varones.
Calibre utilizado para PC:		Harpden
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>	<b>R</b>	<b>SEE</b>
DC = 1.1567 - 0.717 (log <sub>10</sub> X <sub>1</sub> )	0.7-0.9	0.0116
Donde, X <sub>1</sub> (mm): Σ4 pliegues cutáneos (triceps, bíceps, subescapular, suprailiaco, en mm)		

<b>Forsyth &amp; Sinning (1973), n = 50 varones:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	-	19.0-22.0
Altura (cm)	179.0 +/- 0.56	-
Peso (kg)	77.20 +/- 8.71	-
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.072 +/- 0.0102	-
% GC (Brozek y cols. 1963)	12.2 +/- 4.1	-
Grupo étnico:	No especificado.	
País:	EEUU.	
Características de la muestra:	Participantes de equipos universitarios.	
Calibre utilizado para PC:	Lange	
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>
DC = 1.10647 - 0.00162(X <sub>1</sub> ) - 0.00144(X <sub>2</sub> ) - 0.00077(X <sub>3</sub> ) + (0.00071(X <sub>4</sub> ))		0.84
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue subescapular (mm), X <sub>2</sub> = pliegue abdominal (mm), X <sub>3</sub> = pliegue tricéptico (mm), X <sub>4</sub> = pliegue de la axila medial (mm)		0.006

<b>Referencia</b>			
<b>Jackson, Pollock, &amp; Ward (1980), n = 249 mujeres:</b>			
variable	Media +/- DS	Rango	
Edad (años)	31.44 +/- 10.8	18.2-55.0	
Altura (cm)	165.02 +/- 6.00	146.0-181.0	
Peso (kg)	57.15 +/- 7.59	36.0-87.0	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.044 +/- 0.016	1.002-1.091	
% GC (Siri, 1961)	24.1 +/- 7.2	4.0-44.0	
Grupo étnico: No especificado. País: EEUU Características de la muestra: Calibre utilizado para PC:	Amplio rango de mujeres quienes tenían estructura corporal considerablemente variable Lange		
Ecuación de regresión múltiple		R	SEE
(1) $DC = 1.24374 - 0.03162 (\log_{10} X_1) - 0.00066(X_4)$		0.859	0.0081
(2) $DC = 1.221389 - 0.04057 (\log_{10} X_2) - 0.00016(X_3)$ Donde, $X_1 = \Sigma 4$ pliegues cutáneos (tríceps, abdominal, muslo frontal, cresta iliaca, en mm), $X_2 =$ pliegue subescapular (mm), $X_3 = \Sigma 3$ pliegues cutáneos (tríceps, muslo frontal, cresta iliaca, en mm), $X_4 =$ edad (años), $X_4 =$ perímetro de glúteos (cm).		0.838	0.0087

<b>Katch &amp; McArdle (1973), n = 53 varones:</b>			
variable	Media +/- DS	Rango	
Edad (años)	19.3 +/- 1.5	-	
Altura (cm)	176.4 +/- 7.0	-	
Peso (kg)	71.4 +/- 8.6	-	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0646 +/- 0.0138	-	
% GC (Siri, 1961)	15.3 +/- 5.7	-	
Grupo étnico: País: Características de la muestra: Calibre utilizado para PC:	Caucásico. EEUU Estudiantes universitarios de educación física Lange		
Ecuación de regresión múltiple		R	SEE
$DC = 1.09655 - 0.00049 - 0.00103(X_1) - 0.00056(X_2) + (0.00054(X_3))$		0.86	0.0072
Donde, $X_1 =$ pliegue tricipital (mm), $X_2 =$ pliegue subescapular (mm), $X_3 =$ pliegue abdominal (mm)			

<b>Katch &amp; McAardle (1973), n = 69 mujeres:</b>			
variable	Media +/- DS	Rango	
Edad (años)	20.3 +/- 1.8	-	
Altura (cm)	160.4 +/- 11.3	-	
Peso (kg)	59.0 +/- 7.8	-	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0394 +/- 0.0152	-	
% GC (Brozek y cols., 1963)	25.6 +/- 6.4	-	
Grupo étnico: País: Características de la muestra: Calibre utilizado para PC:	No especificado. EEUU Estudiantes universitarias de Educación Física. Largue		
Ecuación de regresión múltiple		R	SEE
$DC = 1.09246 - 0.00049(X_1) - 0.00075(X_2) - 0.00710(X_3) + 0.00121(X_4)$		0.84	0.0086
Donde, $X_1 =$ pliegue subescapular (mm), $X_2 =$ pliegue de la cresta iliaca (mm), $X_3 =$ diámetro biépicondilar del humero (cm), $X_4 =$ perímetro del muslo (cm).			

<b>Katch &amp; Michael (1968), n =64 mujeres</b>			
<b>Variable</b>	<b>Media +/-DS</b>	<b>Rango</b>	
Edad (años)		19.0-23.0	
Altura (cm)	165.9 +/- 4.27	152.4-179.3	
Peso (kg)	58.38 +/- 6.70	44.65-72.16	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.049 +/- 0.011	1.011-1.067	
% GC (Brozek y cols.,1961)	21.5 +/- 5.7	3.8-37.7	
Grupo étnico	no especificado		
País:	EEUU.		
Características de la muestra:	voluntarias universitarias		
Calibre utilizado para PC:	no especificado		
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>	<b>SEE</b>
DC = 1.12569 – 0.001835(X <sub>1</sub> ) – 0.002779(X <sub>2</sub> ) + 0.005419(X <sub>3</sub> ) – 0.0007167(X <sub>4</sub> )		0.70	0.008183
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue tricipital (mm), X <sub>2</sub> = perímetro de glúteo (pulgadas), X <sub>3</sub> = perímetro de brazo flexionado (pulgadas), X <sub>4</sub> = pliegue subescapular (mm):			

<b>Lewis, Haskell, Perry, Kovacevic, &amp; Wood, (1978), n = 42 mujeres:</b>			
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>	
Edad (años)	42.3 +/- 8.4	30.0-59.0	
Altura (cm)	166.1 +/- 5.6	155.0-180.0	
Peso (kg)	57.6 +/- 6.6	46.3-77.0	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.052 +/- 0.012	1.030-1.078	
% GC (Brozek y cols., 1961)	20.5 +/- 5.4	9.1-30.5	
Grupo étnico:	Caucásico.		
País:	EEUU		
Características de la muestra:	38 corredoras de media y larga distancia, algunas de ellas de nivel nacional e internacional. Cuatro sujetos nadaron en eventos de “endurance”, a nivel nacional.		
Calibre utilizado para PC:	Lange.		
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>	<b>SEE</b>
DC = 0.97845 – 0.0002(X <sub>1</sub> ) – 0.00088(X <sub>2</sub> ) – 0.00122(X <sub>3</sub> ) + 0.00234(X <sub>4</sub> )		0.78	0.00795
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue tricipital (mm), X <sub>2</sub> = estatura (cm), X <sub>3</sub> = pliegue subescapular (mm), X <sub>4</sub> = perímetro de brazo relajado (cm).			

<b>Pollock, Laughridge, Coleman, Linneurd, &amp; Jackson, (1975), n = 83 mujeres:</b>			
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>	
Edad (años)	20.2 +/- 1.2	18.0-22.0	
Altura (cm)	166.1 +/- 5.9	-	
Peso (kg)	57.53 +/- 7.44	-	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0427 +/- 0.0141	-	
% GC (Brozek y cols., 1961)	24.8 +/- 6.4	-	
Grupo étnico:	No especificado		
País:	EEUU		
Características de la muestra:	Estudiantes universitarios		
Calibre utilizado para PC:	Lange.		
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>	<b>SEE</b>
(1) DC = 1.0852 – 0.0008 (X <sub>1</sub> ) – 0.0011(X <sub>2</sub> )		0.775	0.0091
(2) DC = 1.0836 – 0.0007 (X <sub>1</sub> ) – 0.0007(X <sub>2</sub> ) + 0.0048(X <sub>3</sub> ) – 0.0088(X <sub>4</sub> )		0.826	0.0082
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue cresta iliaca (mm), X <sub>2</sub> = pliegue del muslo frontal (mm), X <sub>3</sub> = perímetro de muñeca (cm), X <sub>4</sub> = diámetro biepicondilar del fémur (cm).			

<b>Sloan, Burt, &amp; Blyth (1962), n = 50 mujeres:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	20.2 +/- 1.7	17.0-25.0
Altura (cm)	165.0 +/- 0.69	153.0-177.0
Peso (kg)	55.5 +/- 5.9	39.0-76.7
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0467 +/- 0.0122	1.0172-1.0687
% GC (Brozek y cols., 1961)	22.9 +/- 5.6	13.2-36.6
Grupo étnico:	No especificado	
País:	EEUU	
Características de la muestra:	Estudiantes universitarios	
Calibre utilizado para PC:	Calibre del Laboratorio Medico de Nutrición.	
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>
DC = 1.0764 - 0.00081(X <sub>1</sub> ) - 0.00088(X <sub>2</sub> )		0.74
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue de las cresta iliaca (mm), X <sub>2</sub> = pliegue tricipital(mm)		SEE
		0.0082

<b>Sloan, (1967), n = 50 varones:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	-	18.0-26.0
Altura (cm)	177.26	163.0-191.0
Peso (kg)	70.57	57.80-85.70
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0754 +/- 0.0200	-
% GC (Brozek y cols., 1961)	10.8 +/- 5.14	-
Grupo étnico:	No especificado	
País:	Sudáfrica	
Características de la muestra:	Estudiantes universitarios	
Calibre utilizado para PC:	Calibre del Laboratorio Medico de Nutrición.	
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>
DC = 1.1043 - 0.001327(X <sub>1</sub> ) - 0.001310(X <sub>2</sub> )		0.861
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue del muslo frontal (mm), X <sub>2</sub> = pliegue subescapular (mm).		SEE
		-

<b>Thorland, Johnson, Tharp, Housh, &amp; Cisar (1984), n = 141 varones:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	17.43 +/- 0.96	-
Altura (cm)	176.52 +/- 8.60	-
Peso (kg)	67.45 +/- 11.30	-
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0798 +/- 0.0096	-
% GC (Brozek y cols., 1961)	9.0 +/- 3.8	-
Grupo étnico:	No especificado	
País:	EEUU	
Características de la muestra:	Deportistas de nivel nacional en eventos de atletismo, gimnasia, saltos ornamentales, y lucha libre.	
Calibre utilizado para PC:	Lange	
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>
DC = 1.1091 - 0.00052(X <sub>1</sub> ) - 0.00000032(X <sub>2</sub> )		0.82
Donde, X <sub>1</sub> = Σ7 pliegues cutáneos (triceps, subescapular, axila medial, cresta iliaca, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial, en mm).		SEE
		0.0055

<b>Thorland, Johnson, Tharp, Housh, &amp; Cisar (1984), n = 133 mujeres:</b>		
variable	Media +/- DS	Rango
Edad (años)	16.51 +/- 1.39	-
Altura (cm)	166.02 +/- 7.26	-
Peso (kg)	54.51 +/- 7.93	-
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0661 +/- 0.0105	-
% GC (Brozek y cols., 1961)	14.5 +/- 4.3	-
Grupo étnico:	No especificado	
País:	EEUU	
Características de la muestra:	Deportistas de nivel nacional en eventos de atletismo, gimnasia, saltos ornamentales, y lucha libre.	
Calibre utilizado para PC:	Lange	
Ecuación de regresión múltiple		R
DC = 1.0987 - 0.00122(X <sub>2</sub> ) - 0.00000263(X <sub>2</sub> ) <sup>2</sup>		0.82
		SEE
		0.0060
Donde, X <sub>1</sub> = Σ3 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, axila medial, cresta iliaca, en mm).		

<b>Wilmore &amp; Behnke (1969), n = 133 varones:</b>		
variable	Media +/- DS	Rango
Edad (años)	22.04 +/- 3.10	16.80-36.80
Altura (cm)	177.32 +/- 7.17	159.00-193.40
Peso (kg)	75.60 +/- 11.04	53.20-121.20
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0657 +/- 0.0125	1.0310-1.0902
% GC (Siri., 1961)	14.6 +/- 5.5	4.0-30.1
Grupo étnico:	No especificado	
País:	EEUU	
Características de la muestra:	Estudiantes universitarios.	
Calibre utilizado para PC:	Lange	
Ecuación de regresión múltiple		R
DC = 1.08543 - 0.000886(X <sub>1</sub> ) - 0.00040(X <sub>2</sub> )		0.800
		SEE
		0.0076
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue abdominal (mm), X <sub>2</sub> = pliegue del muslo frontal (mm).		

<b>Wilmore &amp; Behnke (1970), n = 128 mujeres:</b>		
variable	Media +/- DS	Rango
Edad (años)	21.41 +/- 3.76	17.80 +/- 47.80
Altura (cm)	164 +/- 6.61	146.10-180.40
Peso (kg)	8.58 +/- 7.14	41.31-81.600
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0406 +/- 0.0099	1.0168-1.0678
% GC (Siri., 1961)	25.7 +/- 4.5	13.6-36.8
Grupo étnico:	No especificado	
País:	EEUU	
Características de la muestra:	Estudiantes universitarios.	
Calibre utilizado para PC:	Lange	
Ecuación de regresión múltiple		R
DC = 1.06234 - 0.00068(X <sub>1</sub> ) - 0.00039(X <sub>2</sub> ) - 0.00025(X <sub>3</sub> )		0.676
		SEE
		0.0074
Donde, X <sub>1</sub> = pliegue subescapular (mm), X <sub>2</sub> = pliegue tricipital, X <sub>3</sub> = pliegue del muslo frontal (mm).		

<b>Wilmore, Craig, Bourdon, &amp; Norton (1987a), n = 207 varones:</b>		
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	24.2 +/- 4.7	25.4-39.1
Altura (cm)	180.0 +/- 8.3	154.1-215.1
Peso (kg)	74.68 +/- 10.54	53.30-117.34
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0761 +/- 0.0085	1.0465-1.0968
% GC (Siri., 1961)	10.0 +/- 3.7	1.3-23.0
Grupo étnico:	No especificado	
País:	Australia	
Características de la muestra:	Representantes provinciales de badminton, básquetbol, ciclismo, hockey sobre césped, lacrosse, fútbol, gimnasia, levantamiento de potencia, patín carrera, fútbol americano, squash, natación, atletismo, voleibol: el 36% de nivel internacional.	
Calibre utilizado para PC:	Harpenden.	

**Ecuación de regresión múltiple****R****SEE**

(1)  $DC = 1.0988 - 0.0004(X_1)$

0.749

0.0058

Donde,  $X_1 = \Sigma 7$  pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, supraespinal, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial, en mm).(1) Esta ecuación de regresión no fue incluida en la publicación de Withers y cols. (1987<sup>a</sup>)

<b>Withers, Norton, Craig, Hartland &amp; Venables (1987b), n = 135 mujeres:</b>			
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>	
Edad (años)	22.3 +/- 3.7	17.4-35.2	
Altura (cm)	165.6 +/- 5.3	152.9-178.6	
Peso (kg)	58.15 +/- 7.44	43.63-93.57	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.0456 +/- 0.0123	0.9916-1.0743	
% GC (Siri., 1961)	23.4 +/- 5.6	10.8-49.2	
Grupo étnico:	No especificado		
País:	Australia		
Características de la muestra:	Muestra representativa de distintos tipos corporales y niveles de actividad física habitual.		
Calibre utilizado para PC:	Harpenden.		
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>	<b>SEE</b>
(1) $DC = 1.20953 - 0.08294(\log_{10} X_1)$		0.863	0.00625
(2) $DC = 1.16957 - 0.066447(\log_{10} X_1) - 0.000506(X_2) + 0.00170(X_3) + (0.00606(X_4))$		0.893	0.00568
Donde, $X_1 = \Sigma 6$ pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial, en mm); $X_2 =$ perímetro de glúteos (cm); $X_3 =$ perímetro antebrazo (cm); $X_4 =$ diámetro biepicondial del humero (cm).			
(1) Esta ecuación de regresión no fue incluida en la publicación de Withers y cols. (1987 <sup>a</sup> )			

<b>Withers, Whittingham, Norton, Laforgia, Ellis, &amp; Crockett (1987c), n = 182 mujeres:</b>			
<b>variable</b>	<b>Media +/- DS</b>	<b>Rango</b>	
Edad (años)	22.5 +/- 5.2	11.2-41.4	
Altura (cm)	167.1 +/- 8.2	138.4-183.8	
Peso (kg)	59.23 +/- 8.80	26.95-87.63	
DC (gr.cm <sup>-3</sup> )	1.05665 +/- 0.01162	1.01895-1.08171	
% GC (Siri., 1961)	18.5 +/- 5.2	7.6-35.8	
Grupo étnico:	No especificado		
País:	Australia		
Características de la muestra:	Representantes provinciales de badminton, básquetbol, hockey, lacrosse, squash, gimnasia, levantamiento de potencia, remo, atletismo, cestobol, fútbol, softball, y voleibol; 27% de nivel internacional.		
Calibre utilizado para PC:	Harpenden.		
<b>Ecuación de regresión múltiple</b>		<b>R</b>	<b>SEE</b>
$DC = 1.20953 - 0.08294(\log_{10} X_1)$		0.834	0.00643
Donde, $X_1 = \Sigma 4$ pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal, pantorrilla media, en mm)			

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adams, J., Mottola, M., Bagnall, K.N., & McFadden, K.D. (1982).  
Total body fat content in a group of professional football players.  
**Canadian Journal of Applied Sports Science**, 7, 36-40.
- Allen, T.H., Krrywhcki, H.J., & Roberts, J.E. (1959).  
Density, fat, water and solids in freshly isolated tissues.  
**Journal of Applied Physiology**, 14, 1005-1008.
- Allen, T.H., Peng, M.T., Chen, I.C.R., Huang, T.F., Chang, C., & Fang, S. (1956).  
Prediction of total adiposity from skinfolds and the curvilinear relationship between external and internal adiposity.  
**Metabolism**, 5, 346-352.
- Behnke, A.R., & Wilmore, J.H. (1974).  
**Evaluation and regulation of body build and composition.**  
New Jersey: Prentice-Hall.
- Brodie, D.A. (1988<sup>a</sup>).  
Techniques for measuring body composition (Part I).  
**Sports Medicine**, 5, 11-40.
- Brodie, D.A. (1988<sup>b</sup>).  
Techniques for measuring body composition (Part II).  
**Sports Medicine**, 5, 74-98.
- Brown, W.J., & Jones, P.R.M. (1977).  
The distribution of fat in relation to habitual physical activity.  
**Annals of Human Biology**, 4, 537-550.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T., & Keys, A. (1963).  
Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions.  
**Annals of the New York Academy of Sciences**, 110, 113-140.
- Chilibitck, R.D., Sale, D.C., & Webber, C.E. (1995).  
Exercise and bone mineral density.  
**Sports Medicine**, 9, 03-122.
- Chien, S., Peng, M.T., Chen, K.B., Huang, T.F., Chang, C., & Fang, S. (1975).  
Longitudinal studies on adipose tissue and its distribution in human subjects.  
**Journal of Applied Physiology**, 39, 825-830.
- Clarys, J.P., Martin, A.D., & Drinkwater, D.I. (1984).  
Cross tissue weights in the human body by cadaver dissection.  
**Human Biology**, 56, 459-473.
- Clarys, J.P., Martin, A.D., Drinkwater, D.T., & Mal\*Il-Jones, M. (1987).  
The skinfold: myth and reality.  
**Journal of Sports Sciences**, 5, 3-33.
- Craig, N.R., Norton, K.L., ~ourdon, R.C., Woolford, S.M., Stanef, T., Squires, B., Olds, T.S., Conyers, R.A.J., & Walsh, C.E. (1993).  
Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance.  
**European Journal of Applied Physiology**, 67, 150-158.
- Durnin, J. V.G.A., & Taylor, A. (1960).  
Reproducibility of measurements of density of the human body as determined by underwater weighing.  
**Journal of Applied Physiology**, 15, 42-144.
- Durnin, J. V.O.A., & Womersley, J. (1974).  
Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years.  
**British Journal of Nutrition** 32, 77-91.
- Eckerson, J.M., Housh, T.J., & Johnson, G.O. (1992).  
The validity of visual estimations of percent body fat in lean males.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise**, 24, 615-618.
- Fidanza, F., Keys, A., & Anderson, J.T. (1953).  
Density of body fat in man and other mammals.  
**Journal of Applied Physiology**, 6, 252-256.
- Forsyth, H.L., & Sinning, W.E. (1973).  
The anthropometric estimation of body density and lean body weight of male athletes.  
**Medicine and Science in Sports**, 5, 174-180.
- Jackson, A.S., Pollock, M.L., & Ward, A. (1980).  
Generalized equation for predicting body density of women.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise**, 12, 75-182.
- Katch, F.I. (1983).  
Reliability and individual differences in ultrasound assessment of subcutaneous fat: effects of body position.  
**Human Biology**, 55, 789-797.

- Katch, F.I., & McArdle, W.D. (1973).  
Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college-age men and women.  
**Human Biology**, **45**, 445-454.
- Katch, F.I., & Michael, E.D. (1968).  
Prediction of body density from skinfold and girth measurements of college females.  
**Journal of Applied Physiology**, **25**, 92-94.
- Keys, A., & Brozek, J. (1953).  
Body fat in adult man.  
**Physiological Reviews** **33**, 245-325.
- Lewis, S., Haskell, W.L., Ferry, C., Kovacevic, C., & Wood, R.D. (1978).  
Body composition of middle-aged female endurance athletes.  
In F. Landry & W.A.R. Orban (Eds.) **Biomechanics of Sports and Kinanthropometry. Book 6** (pp. 321-328), Honda: Symposia Specialists Inc.
- Lohman, T.G. (1981).  
Skinfolds and body density and their relationship to body fatness: a review.  
**Human Biology**, **53**, 181-225.
- Lohman, T.G., Pollock, M.L., Slaughter, M.H., Brandon, L. J. & Boileau, R.A. (1984).  
Methodological factors and the prediction of body fat in female athletes.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise**, **16**, 92-96.
- Malina, K.M. (1987).  
Bioelectric methods for estimating body composition: an overview and discussion.  
**Human Biology**, **59**, 329-335.
- Martin, A.D., Drinkwater, D., Clarys, J.P., & Ross, W.D. (1986).  
The inconsistency of the fat-free mass: A reappraisal with implications for densitometry.  
In T. Reilly, J. Watkins, & J. Borms (Eds.), **Kinanthropometry III** (pp. 92-97). London: E. & EN, Spon.
- Martin, A.D., & McCulloch, R.C. (1987).  
Bone dynamics: stress, strain and fracture.  
**Journal of Sports Sciences**, **5**, 155-163.
- Martin, A.D., Ross, W.D., Drinkwater, D.T., & Clarys, J.P. (1985).  
Prediction of body fat by skinfold calliper: assumptions and cadaver evidence.  
**International Journal of Obesity**, **9**, 31-39.
- McLean, K.P., & Skinner, J.S. (1992).  
Validity of Futrex-5000 for body composition determination.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise**, **24**, 253-258.
- Norton, K.I., Craig, N.P., Withers, R.T., & Whittingham, N.O. (1994).  
Assessing the body fat of athletes.  
**Australian Journal of Science and Medicine in Sports**, **26**, 6-13.
- Pollock, M.L., Gettman, L.R., Jackson, A., Ayres, J., Ward, A., & Linnerud, A.C. (1977).  
Body composition of elite class distance runners.  
**Annals of the New York Academy of Sciences**, **301**, 361-370.
- Pollock, M.L., Laughridge, E.E., Coleman, E., Linnerud, A.C., & Jackson, A. (1975).  
Prediction of body density in young and middle-aged women.  
**Journal of Applied Physiology**, **38**, 745-749.
- Roche, A.F. (1987).  
Some aspects of the criterion methods for the measurement of body composition.  
**Human Biology**, **59**, 209-220.
- Sinning, W.E. (1978).  
Anthropometric estimation of body density, fat and lean body weight in women gymnasts.  
**Medicine and Science in Sports**, **10**, 243-249.
- Siri, W.E. (1961).  
Body volume measurement by gas dilution.  
In J. Brozek, A. Henschel, (Eds.), **Techniques for Measuring Body Composition**. Washington, DC: National Academy of Sciences, National Research Council, (pp. 108-117).
- Sloan, A.W., Burt, J., & Blyth, C.S. (1962).  
Estimation of body fat in young women.  
**Journal of Applied Physiology**, **17**, 967-970.
- Sloan, A. W. (1967).  
Estimation of body fat in young men.  
**Journal of Applied Physiology**, **23**, 311-315.
- Smith, U., Hamnersten, J., Bjorntorp, R. & Kral, J.G. (1979).  
Regional differences and effect of weight reduction on fat cell metabolism.  
**European Journal of Clinical Investigation**, **9**, 327-332.
- Tanner, J.M. (1978).  
Foetus into man (pp. 17-19). London: Open Books.

- Telford, R., Turnily, D., & Darnm, G. (1984).  
Skinfold measurements in well-performed  
Australian athletes.  
**Sports Science and Medicine Quarterly**, **1**,  
13-16.
- Thonland, WG., Johnson, O.G., Tharp, G.D.,  
Housh, T.J., & Cisar, C.J. (1984).  
Estimation of body density in adolescent  
athletes.  
**Human Biology**, **56**, 439-448.
- Wilmore, J.H. (1983).  
Appetite and body composition consequent to  
physical activity  
**Research Quarterly for Exercise and Sport**,  
**54**, 415-425.
- Wilmore, J.H., & Behnke, A.R. (1969).  
An anthropometric estimation of body density  
and lean body weight in young men.  
**Journal of Applied Physiology** **27**, 25-31.
- Wilmore, J.H., & Behnke, A.R. (1970)  
An anthropometric estimation of body density  
and lean body weight in young women.  
**American Journal of clinical nutrition**, **23**,  
267-74.
- Withers, R.T. (1983).  
The measurement of relative body fat:  
assumptions, irritations and measurement  
error  
**Transactions of the Menzies Foundation**,  
**5**, 83-89.
- Withers, R.T., Borkent, M., & Ball, C.T. (1990).  
A comparison of the effects of measured,  
predicted estimated and constant residual  
volumes on the body density of male athletes.  
**International Journal of Sports Medicine**,  
**11**, 357-361.
- Withers, R.T., Craig, N.P., Bourdon, P.C., & Norton,  
K.I. (1987).  
Relative body fat and anthropometric  
prediction of body density of male athletes.  
**European Journal of Applied Physiology**,  
**56**, 191-200.
- Whiters, R.T., Norton, K.I., Craig, N.R., Hartland,  
M.C., & Venables, W. (1987).  
The relative body fat and anthropometric  
prediction of body density of South Australian  
females aged 17-35 years.  
**European Journal of Applied Physiology**,  
**56**, 181-190.
- Withers, R.T., Whittingham, N.O., Norton, K.I.,  
Laforgia, J., Eiji, M.W., & Crockett, A. (1987).  
Relative body fat and anthropometric  
prediction of body density of female athletes.  
**European Journal of Applied Physiology**,  
**56**, 169-180.
- Womersley, J., Durnin, J.V.G.A., Boddy, K., &  
Mahaffy, M. (1976).  
Influence of muscular development, obesity  
and age on the fat-free mass in adults.  
**Journal of Applied Physiology**, **41**, 223-229.

## CAPÍTULO 8



# MODELOS QUÍMICOS DE ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL DE DOS, TRES, Y CUATRO COMPARTIMENTOS

Robert Witbers, Joe Laforgia, Steven Heymsfield, Zi-Mian Wang y Robyn Pillans

## 1. MODELOS DE DOS COMPARTIMENTOS

### 1.1 Introducción

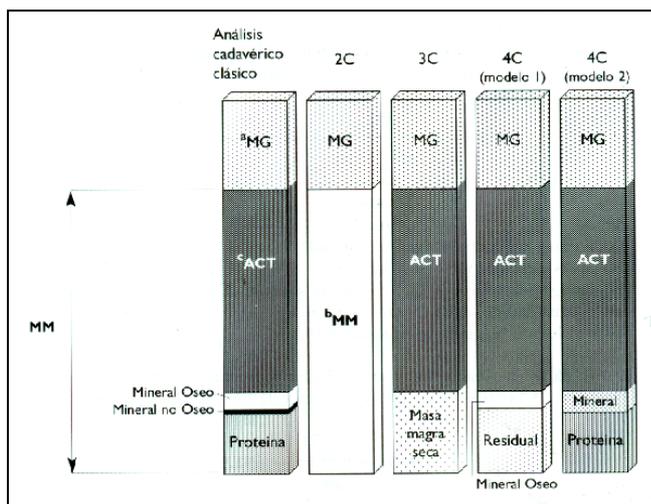
Los tres modelos de dos compartimentos para el análisis de la composición corporal (Tabla 1) involucran la determinación de la densidad corporal (DC) a través del peso hidrostático o hidrodesintometría, el de agua corporal total (ACT) a través de la dilución isotópica, y el potasio corporal total (KCT) a través del conteo de la radiación gamma emitida por el  $^{40}\text{K}$ , el cual comprende el 0.01181 de todo el potasio que hay naturalmente. Estos métodos están basados en la premisa de que el cuerpo puede

dividirse en dos compartimentos químicamente singulares (Figura 1), denominados masa grasa (MG) y masa magra (MM), o libre de grasa. La MG, definida como lípido extractable por el éter, se supone que tiene una densidad de  $0.9007 \text{ gr.cm}^{-3}$  a 36 grados C, es anhidra y no contiene potasio, mientras que se considera que la MM tiene una densidad de  $1.1000 \text{ gr.cm}^{-3}$  a 36 grados C, un contenido de agua del 72 %, y una concentración de potasio de  $68.1 \text{ mmol.kg}^{-1}$ . En los párrafos siguientes se describe y se critica la metodología para los modelos de dos compartimentos, ya que en muchos casos proporcionan el marco conceptual sobre el cual se basan los modelos más sofisticados.

Modelos	Presunciones	Cálculos
Hidrodensitometría	Densidad MM = $1.1000 \text{ gr.cm}^{-3}$ Dens. MG = $0.9007 \text{ gr.cm}^{-3}$	$\% \text{ GC} = 497.1/\text{DC} - 451.9$ $\text{MM (kg)} = \text{peso (kg)} - (\text{MG}) (\text{kg})$
Agua Corporal Total	$\text{ACT (kg)}/\text{MM (kg)} = 0.72$	$\text{MM (kg)} = \text{ACT (kg)}/0.72 \times 100$
Potasio Corporal Total	$\text{KCT}/\text{MM} = 68.1 \text{ mmol.kg}^{-1}$	$\text{KCT (mmol)} = \text{KCT (gr)}/39.1 \times 100$
		$\text{MM (kg)} = \text{KCT (mmol)}/68.1$

MM = masa magra; DC = densidad corporal; % GC = porcentaje de grasa corporal; Mg = masa grasa; KCT = potasio Corporal Total; ACT = Agua Corporal Total.

**TABLA 1.** Modelos de dos compartimentos



**FIGURA 1.** Gráfico esquemático de los análisis clásicos de cadáveres (Brozek, Grande, Anderson, & Keys, 1963) y de los modelos químicos de 2, 3, y 4 Compartimentos, para el análisis de la composición corporal.

<sup>a</sup>MG = masa grasa; <sup>b</sup>MM = masa magra; <sup>c</sup>ACT = agua corporal total.

## 1.2 Descripción

### 1.2.1 Peso hidrostático subacuático (PHS) o Hidrodensitometría

El principio de Arquímedes establece que cuando un cuerpo se sumerge en un líquido experimenta un empuje de abajo hacia arriba igual al peso del volumen del líquido desalojado, la densidad de un objeto se define como su peso por unidad de volumen ( $gr.cm^{-3}$ ). Por lo tanto, si determinamos el peso de un sujeto, tanto en el aire como cuando está completamente sumergido en el agua, entonces se podría calcular su densidad de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Densidad (gr. Cm}^{-3}\text{)} &= \frac{\text{Peso (gr)}}{\text{volumen (cm}^3\text{)}} \\
 &= \frac{\text{Peso del cuerpo en el aire (gr)}}{\text{peso del cuerpo en el aire (gr) - peso del cuerpo en el agua (gr)}}
 \end{aligned}$$

Además, se deben hacer correcciones y ajustes sobre la densidad del agua, la cual depende de la temperatura, y sobre el volumen residual ventilado ya que el peso hidrostático normalmente se toma cuando el sujeto ha realizado una espiración máxima. Por lo tanto, la fórmula completa (Buskirk, 1961) es la siguiente:

normalmente se toma cuando el sujeto ha realizado una espiración máxima. Por lo tanto, la fórmula completa (Buskirk, 1961) es la siguiente:

$$DC = \frac{PC_{\text{aire}}}{\left( \frac{PC_{\text{aire}} - PC_{\text{agua}}}{DA} \right) - VR}$$

donde:

DC densidad corporal ( $gr.cm^{-3}$  o  $gr.m^{-3}$ )

PC aire = peso corporal en el aire (gr)

PC agua = peso corporal (gr) cuando el sujeto está sumergido en el agua

DA = densidad del agua ( $gr.cm^{-3}$  o  $gr.ml^{-3}$ )

VR volumen respiratorio residual (ml)

Luego, la DC normalmente es convertida a porcentaje de grasa corporal (% GC) utilizando la ecuación de Brozek y cols. (1963), la cual está derivada en la Figura 2:

$$\%GC = \frac{497.1}{DC} - 451.9$$

Por lo tanto, si un hombre de 75.00 kg tiene un peso sumergido de 3.00 kg, a una temperatura de agua de 35 grados C ( $DA = 0.9941 gr.cm^{-3}$ ), y su volumen residual es de 1.300 ml, entonces:

$$DC = \frac{75000}{\left( \frac{75000 - 3000}{0.9941} \right) - 1300} = 1.05445 gr.cm^{-3}$$

$$\frac{1}{DC} = \frac{MG}{\text{densidad}^a MG} + \frac{MM}{\text{densidad}^b MM}$$

$$MG = \text{densidad}^a MG \left[ \frac{1}{DC} - \left( \frac{1 - MG}{\text{densidad}^b MM} \right) \right]$$

$$MG = 0.9007 \left[ \frac{1}{DC} - \left( \frac{1 - MG}{1.1000} \right) \right]$$

$$MG = \frac{0.9007}{DC} - 0.818818 + 0.818818 MG$$

$$0.181182 MG = \frac{0.9007}{DC} - 0.818818$$

$$MG = \frac{4.971}{DC} - 4.519$$

$$\% MG \text{ o } \% GC = \frac{497.1}{DC} - 451.9$$

**FIGURA 2.** Derivación del modelo de dos compartimentos (<sup>a</sup>MG y <sup>b</sup>MM) para estimar la adiposidad corporal relativa, a través del peso hidrostático subacuático o hidrodensitometría.

Presunciones: Densidad de la MG = 0.9007 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Fidanza, Keys, y Anderson, 1953)  
Densidad de la MM = 1.1000 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Brozek y cols., 1963)

Si el peso corporal (kg) es igual a la unidad (es decir, 1), y; los dos compartimentos son representados como proporciones, de tal modo que la MG + MM = 1.0, entonces la fórmula puede derivarse simplemente como se muestra arriba, donde: <sup>a</sup>MG = masa grasa; <sup>b</sup>MM = masa magra; <sup>c</sup>DC = densidad corporal.

La ecuación de Siri % GC = 495/DG - 450; Siri, 1956) puede utilizarse para convertir la DG en % GG. Sin embargo, esta ecuación utiliza un valor de 0.9000 gr.cm<sup>-3</sup> para la densidad de grasa a 37 gr C. A pesar de que la temperatura interna es aproximadamente de 37 gr C, la temperatura corporal media, bajo condiciones basales de reposo y en un medio ambiente confortable, probablemente sea 1 o 2 gr C más baja (Burton, 1935). Además, la temperatura corporal media, probablemente sería de ~ 36 gr C durante el

peso hidrostático (PHS) cuando la temperatura del agua es mantenida en ~ 35 gr C. Por lo tanto, hemos utilizado 0.9007 gr.cm<sup>-3</sup> para la densidad de la grasa a 36 gr C. De cualquier modo, las ecuaciones de Siri (1956) y Brozek y cols. (1963) dan resultados dentro del 1 % de GC en el rango de 1.03-1.10 gr.cm<sup>-3</sup>.

Es importante que se mida el VR cuando el sujeto está sumergido en el agua ya que el efecto neto de la presión hidrostática (disminuye el VR), el congestionamiento vascular pulmonar (disminuye el VR), y la menor compliancia (aumenta el VR), es la reducción del VR ventilado. En un estudio (Withers & Hamdorf, 1989) se observó que la inmersión en agua disminuía el VR en 292 ml, y que esto aumentaba la grasa corporal relativa estimada de 15.2 % a 17.1 %.

Distintas razones han contribuido para que el PHS sea el modelo de dos compartimentos más frecuentemente utilizado para estimar la composición corporal. Los sistemas básicos de PHS pueden armarse fácilmente consiguiendo un contenedor de agua, que puede ser un tonel de vino, un sistema de caldera, y una balanza de autopsia. Además, el VR puede medirse a través del lavado de N<sub>2</sub> usando analizadores de CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> los cuales son aparatos básicos del equipamiento de cualquier laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Además, es más expeditivo que el método del ACT, en el cual el sujeto normalmente espera en el laboratorio durante 3-3.5 horas hasta que el isótopo se equilibre con los fluidos corporales. Además, el costo de un contador total de K corporal total podría ser prohibitivo.

La DC puede medirse con gran precisión. Buskirk (1961) señaló un error técnico promedio definido como el desvío standard de las diferencias entre las series 1 y 2, de 0.0021 gr.cm<sup>-3</sup>, para 7 estudios. Las series de reproductibilidad en nuestro laboratorio con 6 personas entre 20 y 30 años dieron un coeficiente de correlación intraclase de 0.999 (DS de las diferencias = 0.0011 gr.cm<sup>3</sup>) y un error técnico de medición (ETM) de 0.3 % GC (Figura 3).

Mientras que la inmersión completa puede hacer que este método no sea adecuado para algunas personas como los mayores, este problema se podría evitar utilizando técnicas pletismográficas (Garrow y cols., 1979; Gundlach & Visscher, 1986), las cuales tienen precisiones comparables a las reportadas en este párrafo.

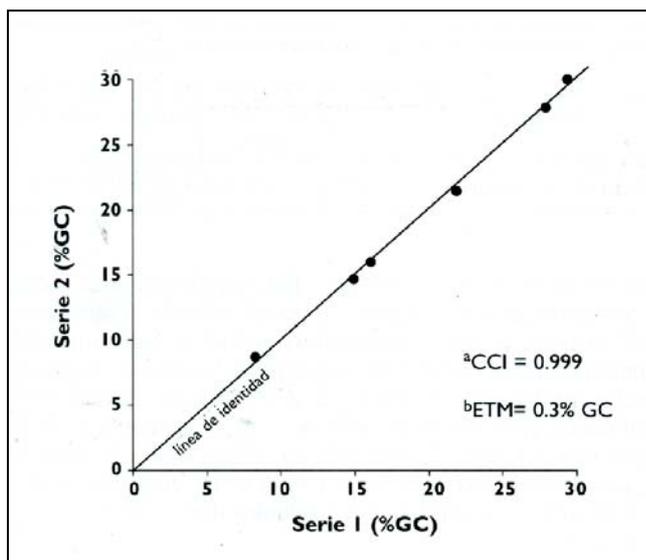


FIGURA 3. Datos de confiabilidad (n = 6) para la estimación del % GC a través de la técnica hidrodensitométrica. <sup>a</sup>CCI = coeficiente de correlación intraclase, <sup>b</sup>ETM = error técnico de medición.

**1.2.2 Agua corporal total ACT), a través de la ilusión isotópica**

El cálculo del ACT está basado en el principio de dilución:

$$C_1m_1 = C_2m_2$$

donde:

- C<sub>1</sub> = concentración del trazador en solución experimental
- m<sub>1</sub> = masa o peso de la solución experimental
- C<sub>2</sub> = concentración en equilibrio del trazador en el fluido biológico de interés (plasma, orina, o saliva)
- m<sub>2</sub> = masa o peso de ACT

Esta ecuación puede reorganizarse:

$$m_2 = \frac{C_1m_1}{C_2}$$

[trazador] en solución experimental x solución experimental (gr)

$$ACT (gr) = \frac{\text{concentración del trazador en equilibrio}}$$

Por lo tanto,

dosis de trazador (gr)

$$ACT (gr) = \frac{\text{concentración del trazador en equilibrio}}$$

Existe una variedad de trazadores o «tracers» (tritio, deuterio, y <sup>18</sup>O) y de técnicas de medición (trino: conteo centellográfico; deuterio y <sup>18</sup>O: espectroscopía de absorción infrarroja y espectroscopía de masa de cociente isotópico) utilizadas para determinar el ACT. Sin embargo, el deuterio ha surgido como el trazador de preferencia porque es un isótopo estable sin los riesgos de radiación del tritio, y además, es mucho más económico que el H<sub>2</sub> <sup>18</sup>O. La espectroscopía de masa de cociente isotópico también es el procedimiento de elección porque se pueden lograr mediciones con una precisión < 1.0 %. La dosis de óxido de deuterio (<sup>2</sup>H<sub>2</sub> O) normalmente es administrada en forma oral en una solución con agua destilada. Sin embargo, se necesitan hacer correcciones para la concentración pre-dosis en el fluido biológico experimental, y por el hecho de que el ACT es sobreestimada en ~ % (Schoeller & Jones, 1987) debido al intercambio de deuterio con hidrógeno no acuoso en el cuerpo. Por lo tanto, la ecuación precedente necesita ser modificada:

*dosis de "tracer" de <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O(gr) x dosis de agua enriquecida (ppm), en exceso al valor de base en saliva*

*saliva enriquecida, en equilibrio (ppm) – valor de base en saliva*

$$ACT real (gr) = \text{ppm}$$

Supongamos que el valor de base natural de deuterio en la saliva, en un adulto de 70 kg es de 155 ppm, y que una dosis de <sup>2</sup>H, O con un enriquecimiento deuterio de 23.907 ppm aumente la concentración de deuterio en la saliva a 211 ppm en equilibrio. Estos datos llevan a un valor real de ACT de:

$$ACT real = \frac{\left( \frac{103.12x(23907 - 155)}{211 - 155} \right)}{1.04} = 42055 \text{ gr o } 42.055 \text{ kg}$$

Por lo tanto, la MM es de 58.41 kg, con una grasa corporal relativa del 16.6 %. El lector interesado puede referirse a Schoeller y cols. (1980), cuyo trabajo también contiene un factor de corrección para la diferencia de peso molecular entre el H<sub>2</sub>O (18.016) y el <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O (20.028). La estandarización estricta de nuestros procedimientos para determinar el ACT nos ha permitido alcanzar un coeficiente de correlación intraclase y un ETM de 0.983 y 0.5 % GC, respectivamente, para 2 series de medición en 5 sujetos (Figura 4).

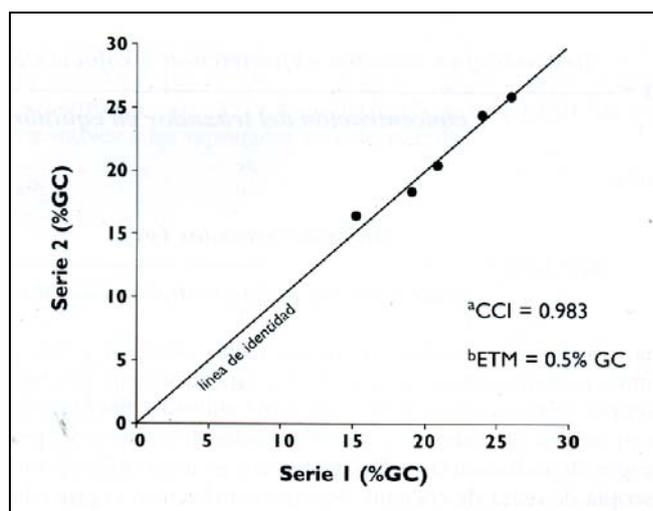


FIGURA 4. Datos de confiabilidad ( $n=5$ ) para el % GC, a partir de la determinación del agua corporal total a través de la dilución isotópica (de deuterio).

<sup>a</sup>CCI = coeficiente de correlación intraclassa, <sup>b</sup>ETM = error técnico de medición

### 1.2.3 Potasio corporal total (KCT)

El <sup>40</sup>K radioactivo es detectado por contadores corporales totales, muy sensibles, que deben ser examinados a partir de la radiación de base ya que la concentración de este isótopo es muy baja. También se necesita una tolerancia para la atenuación del conteo por cada tamaño y forma corporal del sujeto; la precisión, adicionalmente, depende de factores tales

Sustancia	Peso (gr)	Volumen a 36° C (ml)	Densidad a	% (le MM)
Agua	624.3	628.2	0.99371	73.72
Proteínas	164.4	122.7	1.34	19.41
Mineral óseo	47.7	16.0	2.982	5.63
Mineral no óseo	10.5	3.2	3.317	1.24
Total	846.9	770.1	1.100	100.00

TABLA 2. Pesos y volúmenes de los compartimentos químicos de la MM, por kilogramo de peso corporal, a una temperatura corporal media (Brozek y cols., 1963).

Por lo tanto, es apropiado examinar la validez de estas constantes, ya que también son utilizadas en los modelos multi-compartimentos:

#### (a) Grasa

Fidanza y cols. (1953) reportaron que la densidad de 20 muestras de grasa extractable por éter del tejido intra-abdominal y subcutáneo de 5 sujetos fue de  $0.9007 \pm 0.00068 \text{ gr.cm}^{-3}$  (media  $\pm$  DS) a 36 gr C, con un coeficiente de expansión térmica de 0.00074

como el tipo de sistema de conteo junto con su diseño, y la eliminación de contaminadores cercanos. La Tabla 1 indica cómo calcular la MM a partir del KCT. Nuestras series de confiabilidad test-retest ( $n=6$ ), usando un contador del KCT en el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Royal Adelaide produjeron un coeficiente de correlación intraclassa de 0.886 y un ETM de 2.4 % GC. Estos resultados son inferiores a nuestras precisiones, reportadas previamente, para la DC y el ACT.

### 1.3 Crítica

#### 1.3.1 Peso hidrostático Subacuático (PHS) o Hidrodensimetría

El modelo hidrodensitométrico de dos compartimentos arrojará valores incorrectos para el % GC si:

- la densidad de grasa extractable por éter, la cual compone la masa grasa, no es de  $0.9007 \text{ gr.cm}^{-3}$ .
- \*las densidades y proporciones relativas de los cuatro compartimentos de la MM [agua, proteínas, mineral óseo, mineral no óseo (tejido blando)] difieren de los valores para los análisis cadavéricos clásicos (Tabla 2 y Figura 1), de tal modo que la densidad de la MM no sea  $1.1000 \text{ gr.cm}^{-3}$ .

$\text{gr.cm}^{-3}/\text{gr C}^{-1}$ , en el rango de 15 a 37 gr C. Por lo tanto, el pequeño coeficiente de variación de 0.08 % valida la suposición de una densidad hidrodensitométrica de la MG de  $0.9007 \text{ gr.cm}^{-3}$ . Sin embargo, en el interés de la precisión científica, hay que hacer una pequeña advertencia. Los análisis precedentes fueron llevados a cabo principalmente con triglicéridos. Mientras que la combinación de colesterol (densidad =  $1.067 \text{ gr.cm}^{-3}$ ) y fosfolípidos (densidad =  $1.035 \text{ gr.cm}^{-3}$ ) comprende sólo el 1 % de la grasa extractable por éter del tejido adiposo del conejo

(Méndez, Keys, Anderson, & Grande, 1960), cifras similares para la grasa extraída de los sistemas muscular y nervioso central de animales pueden tener un promedio tan elevado como 37 y 75 %, respectivamente (Méndez y cols., 1960). De cualquier modo, se ha estimado que los lípidos en el cerebro adulto, médula espinal, y nervios llegan solamente a 200-300 gr (Keys & Brozek, 1953), y Méndez y cols. (1960) han propuesto una cantidad similar para los lípidos musculares. Heymsfielc y cols. (1991) han propuesto concordantemente que los triglicéridos suman el 99 % de lípidos extractables por éter. Por lo tanto, el error en la densidad de la MG, probablemente, sea insignificante.

### (b) Masa Magra

La presunción de una densidad de la MM de  $1.1000 \text{ gr.cm}^{-3}$  (Tabla 2 y Figura 1) está basada en la media para los análisis químicos de sólo tres cadáveres masculinos de 25, 35, y 46 años (Brozek y cols., 1963) pero sin embargo es aplicada independientemente de la edad, sexo, dote genética y entrenamiento de los sujetos. Este supuesto ha sido desafiado por muchos investigadores (Deurenberg, Weststrate, & van der Kooy, 1989; Haschke, Fomon, & Ziegler, 1981; Lohman, 1981; Womersley, Durnin, Boddy, & Mahaffy, 1976), ya que las personas con una densidad menor a  $1.1000 \text{ gr.cm}^{-3}$  tendrán un porcentaje sobreestimado de GC. Ejemplos típicos de individuos en esta categoría son los niños que tienen una hidratación de la MM mayor al 73.7 %, aquellas personas que están sobrehidratadas o edematosas, y los mayores, particularmente las mujeres, cuyos minerales óseos han sido depletados por la osteoporosis. Lo opuesto, se aplicará si la MM es mayor a  $1.1000 \text{ gr.cm}^{-3}$ , como en el caso de las personas deshidratadas y aquellos con una proporción mayor a la normal de mineral óseo. Sirj (1956; 1961) reconoció esta limitación y estableció que la variabilidad biológica en la densidad de la MM resultaba en un error con un desvío standard de 3.8 % GC ( $\sim 0.0084 \text{ gr.cm}^{-3}$ ) para la hidrodensitometría. Lohman (1981) formuló la hipótesis de que este error se reduce a 2.7 GC ( $\sim 0.006 \text{ gr.cm}^{-3}$ ) para poblaciones específicas. Ninguna de las estimaciones precedentes incluye el pequeño error técnico asociado con la medición de la DC. A continuación, se presenta una valoración crítica de las densidades y porcentajes relativos de los cuatro compartimentos de la MM (Tabla 2):

- **AGUA** - La densidad del agua a distintas temperaturas, la cual se puede conseguir

fácilmente en tablas científicas (Lentner, 1981, Tabla 50; Weast, 1975, Tabla F-5), está más allá de toda disputa.

La literatura contiene los siguientes datos (media +/- DS:  $72.0 \pm 3.7 \%$ ) para la hidratación de la MM de cinco cadáveres masculinos: 67.4 y 70.4 (Forbes & Lewis, 1956); 77.56 (Mitchell, Hamilton, Steggerda, & Bean, 1945); 72.1 (Shohl, 1939), y 72.62 % (Widdowson, McCance, & Spray, 1951). Si bien la media de 72.0 % puede utilizarse para estimar el % GC a través del modelo de dos compartimentos de dilución isotópica (Tabla 1), se debería observar la variabilidad. Además, algunos investigadores utilizan 73.72 % para la hidratación de la MM (Tabla 2). Quizás, los datos más válidos para la hidratación de la MM son los reportados «in vivo», usando modelos de varios compartimentos para el análisis de la composición corporal. La literatura contiene valores medios en el rango de 71.9-74.4 % (Baumgartner, Heymsfield, Lichtman, Wang, & Pierson, 1991; Friedl, deLuca, Marchitelli, & Vogel, 1992; Fuller, Jebb, Laskey, Coward, & Elia, 1992; Heymsfield y cols., 1989a; 1990; 1991) para hombres y mujeres adultos, pero las comparaciones entre estudios es difícil, debido a factores tales como distintos valores para el intercambio de hidrógeno no acuoso, y a la medición del VR en el aire, en oposición con la medición en el agua.

- **PROTEÍNAS** - Las densidades de la mayoría de las proteínas en el estado cristalino seco son cercanas a  $1.27 \text{ gr.cm}^{-3}$  (Haurowitz, 1963, p.119). Sin embargo, las proteínas son las principales sustancias: que se combinan con el agua en los seres humanos y la hidratación resultante está acompañada por una contracción de volumen, tanto del soluto como del solvente. Por lo tanto, el volumen específico disminuye hasta que la densidad es de  $1.34 \text{ gr.cm}^{-3}$  (Haurowitz, 1963, p.119), lo cual parece ser la mejor estimación disponible para la proteína hidratada en la célula viva. Pero se sabe que las proteínas difieren en densidad y colágeno, el cual se estima que compone el 25-30 % de la proteína corporal total (principalmente en hueso y piel), tiene una densidad media en seco de  $1.36 \text{ gr.cm}^{-3}$  (Hulmes & Miller, 1979). Por lo tanto, parece que la estimación de la densidad utilizada para

las proteínas es mucho más tenue que la utilizada para las grasas y el agua, para las cuales los coeficientes de expansión térmica también son conocidos.

Se estimó la masa de proteína cruda en los tres cadáveres (Tabla 2) a partir del nitrógeno corporal total (NCT), suponiendo que todo el nitrógeno está incorporado en las proteínas, la cual comprende 16 % de nitrógeno (proteínas = NCT x 6.25). Bajo circunstancias normales, > 99 % del NCT está incorporado en las proteínas (Heymsfield, Wang, & Withers, en prensa). Knight, Beddoe, Streat, y Hill (1986) han reportado cocientes de proteína/nitrógeno (P/N) de 5.80, 6.3, y 7.29 para el colágeno, actinmiosina, y albúmina, respectivamente. Sin embargo, los análisis químicos con dos personas que murieron de cáncer arrojaron cocientes corporales totales (media +/- DS, P medido 10 veces y N medido 20 veces) de 6.33 +/- 0.19 y 6.40 +/- 0.22. Ellos concluyeron que estos datos no brindaban una justificación para cambiar el cociente P/ N supuesto de 6.25. Los tres cadáveres resumidos en la Tabla 2 tenían 16.4, 19.5, y 23.4 % de proteínas en sus MM. Este rango tan grande, probablemente, se deba a diferencias en la masa músculo-esquelética, la cual es la única fuente más grande de proteínas. Es posible comparar los análisis cadavéricos precedentes (media = 19.8 % de proteínas en la MM) con datos recientes «in vivo», donde el total de proteínas corporales ha sido medido por análisis de activación neutrónica gamma (P = NCT x 6.25), el cual tiene una precisión de 2.7 % (Heymsfield y cols., 1991) y luego es expresado como porcentaje de la MM determinada por análisis de varios compartimentos. Cuatro estudios (Heymsfield y cols., 1989x; 1989b; 1990; 1991) han reportado dicha información con hombres y mujeres adultos normales, en un amplio rango de edad. Mientras que todas las medias (19.5-20.8 %) fueron muy cercanas a las de los análisis cadavéricos clásicos, los valores individuales de 16.4-22.3 % resaltan la variabilidad biológica para este componente de la MM.

- **MINERAL OSEO** - La validez de las presunciones para las densidades de mineral óseo (MO) y mineral no óseo (MNO) también puede ser cuestionada. El anterior valor de 2.982

gr.cm<sup>-1</sup> está basado en la media de sólo cuatro muestras (Méndez y cols., 1960) aislada de los huesos largos de animales (tibia de la vaca a 36 gr C: 2.9930 y 3.0066 gr.cm<sup>-3</sup>; fémur y tibia del perro a 36.7 gr C: 2.9624 y 2.9667 gr.cm<sup>-3</sup>), pero Brozek y cols. (1963) verificaron posteriormente este valor contra el valor obtenido por estequiometría para el prototipo de mineral de hidroxapatita, luego de la tolerancia de la cristalización del agua y CO<sub>2</sub>. Méndez y cols. (1960) también citaron un trabajo anterior de Dallemagne y Melon (1945), quienes reportaron densidades de minerales óseos y dentales de 2.99 y 3.01 gr.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. La Tabla 2 indica que el MO comprendía el 5.63 % de la MM para los tres cadáveres; sin embargo, el rango era de 4.69 a 6.36 % (Brozek y cols., 1963). El advenimiento de la absorciometría fotónica dual (DPA), y su sucesora, la absorciometría dual con Rayos X (DEXA), facilitaron la medición del MO "in vivo". Por lo tanto, ahora es posible comparar los datos cadavéricos precedentes con los recolectados «in vivo», en los casos en que se ha determinado también la composición corporal a través de métodos de varios compartimentos. Friedl y cols. (1992) reportaron valores más elevados (media +/- DS: 6.81 +/- 0.67 % MM) en 10 soldados, mientras que se observaron valores inferiores (Baumgartner y cols., 1991) en hombres (media +/- DS: 74.1 +/- 7.7 años, n = 35, 5.00 % MM) y mujeres (media +/- DS: 74.7 +/- 5.9 años, n = 63, 4.96 % MM) mayores. Doce jóvenes atletas varones de «endurance» altamente entrenados (media +/- DS: 22.2 +/- 4.9 años) registraron valores bastante homogéneos (media +/- DS: 5.50 +/- 0.28 % MM) con una media que se aproximaba a la de los tres cadáveres (Withers, Smith, Chatterton, Schultz, & Gaffney, 1992). Datos más heterogéneos (media +/- DS: 5.42 +/- 0.62 % MM) fueron obtenidos, en forma comprensible, en 14 hombres y mujeres que tenían un rango de edad entre 29 y 94 años Heymsfield y cols., 1989a). Las investigaciones precedentes enfatizan la variabilidad biológica en la fracción de MO de la MM.

- **MINERALES NO OSEOS (TEJIDO BLANDO)** - Los análisis cadavéricos clásicos suponían que todo el calcio estaba contenido dentro del hueso, y que estaba acompañado por las mismas cantidades de fósforo, sodio, y magnesio en forma de ceniza ósea (Brozek y

cols., 1963). Este parece una razonable presunción ya que el calcio extra-esquelético representa menos del 0.4 % del total de calcio corporal (Snyder, 1975). La densidad total de los restantes minerales extra-esqueléticos o MNO se calculaba, allá entonces, que era aproximadamente de 3.317 gr.cm<sup>-3</sup> (Brozek y cols., 1963). Es posible estimar los MNO «in vivo» midiendo: el total de calcio corporal, sodio, y cloruro a través del análisis de activación neutrónica gamma, el calcio óseo a partir de la absorciometría dual con Rayos X, y el potasio corporal total mediante conteo de la radiación gamma emitida por el <sup>40</sup>K. Sin embargo, los datos publicados (Heymsfield y cols., 1989a; 1989b; 1990; 1991) dan respaldo a porcentajes mucho menores de la MM (0.80 - 0.90 %) que el 1.24 % MM, reportado para los tres cadáveres (Brozek y col., 1963). Estas discrepancias están probablemente relacionadas con las distintas presunciones formuladas para las mediciones «in vitro» e «in vivo». Un desvío standard (de 0.051 % MM (media = 0.821 % MM), en 14 hombres y mujeres en el rango de edad de 24-94 años, indica la variabilidad biológica de los MNO en los adultos sanos (Heymsfield y cols., 1989a). Sin embargo, a pesar de su elevada densidad, los MNO representan una fracción tan pequeña de la MM que su impacto sobre la densidad total de la MM también es mínimo.

### 1.3.2 Agua corporal total (ACT) a través de la dilución isotópica

Ya se discutió la variabilidad en la hidratación de la MM. Si la MM tiene una hidratación mayor que el 72 %, entonces el método del ACT de dos compartimentos subestimaré el GC. Por ejemplo, una hidratación de la MM del 75.7 %, en un sujeto de 75 kg con un ACT de 45 kg, resultaría en una subestimación del 4.0 %. Sorprendentemente, lo contrario se aplica a la hidrodensitometría porque el aumento del agua disminuye la densidad de la MM. Otra consideración es que el tejido adiposo contiene cerca del 15 % de agua y 2 % de proteínas.

Esta agua está incluida en la MM ya que la MG es lípido extractable por éter, el que es anhidro. Por lo tanto, el contenido de agua del tejido magro es del 88 % (15/17 x 100) lo cual es más que la constante supuesta de hidratación de la MM del 72 %. Por lo tanto, las personas más obesas tendrían lógicamente una hidratación de la MM mayor al 72 %.

Existen además algunos problemas no resueltos asociados con la medición del ACT «in vivo». En primer lugar, algunos investigadores han comparado el espacio de dilución de isótopos (EDI) con el criterio de ACT medida por desecación. Este trabajo ha sido resumido por Schoeller y Jones (1987), quienes concluyeron que la mayoría de estas comparaciones indican que el EDI sobreestima el ACT entre un 1 y 6 %. Esto se debe principalmente al intercambio de los isótopos con los constituyentes corporales no acuosos (Culebras & Moore, 1977; Schoeller y cols., 1980). Sin embargo, los errores en la técnica de dilución pueden suceder a partir de una pérdida de isótopos y consecuente sobreestimación del ACT, mientras que los errores en el método de criterio de desecación son causados por secado incompleto, y consecuente subestimación del ACT. Por lo tanto, estos errores opuestos tenderían a acentuar las diferencias entre el ACT a través de la dilución isotópica y de la desecación. Sin embargo, el uso simultáneo de deuterio y H<sub>2</sub><sup>18</sup>O en seres humanos lleva a un EDI del 3-5 % mayor para el primer método (Schoeller y cols., 1980; Wong y cols., 1988). Además, se ha demostrado que el EDI a través del H<sub>2</sub><sup>18</sup>O es de 0.4 a 2.1 % mayor que el ACT a partir de la desecación (Lifson, Gordon, & McClintock, 1955; Nagy, 1980; Whyte, Bayley, & Schwarcz, 1985), y los cálculos teóricos respaldan una sobreestimación de aproximadamente 1 % del ACT a través del H<sub>2</sub><sup>18</sup>O (Schoeller y cols., 1980). Por lo tanto, Schoeller y Jones (1987) concluyeron que los espacios de dilución de H<sub>2</sub><sup>18</sup>O y <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O son de 1 +/- 1 (media +/- DS) y 4 +/- 1 % mayores, respectivamente, que el ACT. Mientras que estas recomendaciones han sido adoptadas por muchos investigadores, algunos utilizan un factor de corrección del 2 % para el ACT a través de la dilución de deuterio (Friedl y cols., 1992; Hewitt, Going, Williams, & Lohman, 1993). Sin embargo, si uno acepta que el EDI de H<sub>2</sub><sup>18</sup>O sobreestima el ACT en un 1 %, entonces la recomendación de Schoeller y Jones (1987) para estimar el ACT a partir de la dilución de deuterio está respaldada consecuentemente por Coward (1990), quien indicó que los cocientes del EDI (<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O/H<sub>2</sub><sup>18</sup>O) estuvieron estrechamente enclaustrados alrededor de una media de 1.03, en 9 estudios diferentes, llevados a cabo por la Unidad de Nutrición Dunn de la Universidad de Cambridge. Otro problema metodológico es que el EDI cambia continuamente, ya que mientras el isótopo se está equilibrando con el «pool» de agua corporal, se está continuamente eliminando de él. Las rutas de pérdida de isótopos y entrada de agua han sido cuantificadas por Schoeller, Kushner, Taylor, Dietz, & Bandini (1985). En la práctica, la mayoría de los investigadores sólo hacen

compensación del trazador eliminado en la orina e ignoran la pérdida insensible de trazador. Los problemas finales se refieren al fraccionamiento isotópico de las muestras y a la variabilidad inter-individual en el tiempo que toma el trazador para equilibrarse con el «pool» de agua corporal, si se utiliza el método de «plateau» (Wong y cols., 1988).

### 1.3.3 Potasio corporal total (KCT)

La conversión de KCT a MM está basada en la presunción de que la MM contiene 68.1 mmol de K.kg<sup>-1</sup> (Forbes, Gallup, & Hursh, 1961), que es la media para cuatro análisis cadavéricos. Por lo tanto, al igual que los dos modelos anteriores de dos compartimentos, esta suposición ignora la variabilidad biológica. La MM de sujetos muy musculados podría obviamente ser sobreestimada porque el músculo esquelético contiene 78-90 mmol K.kg<sup>-1</sup> (Forbes, 1987, pag. 39). De cualquier modo, la medición del KCT «per se» es utilizada en otros modelos que serán discutidos más adelante, en este capítulo.

### 1.4 Resumen

Por lo tanto, podría concluirse que la mayor parte del error asociado con estos tres modelos de dos compartimentos recae, no tanto en la precisión técnica de las mediciones, sino en la variabilidad biológica o

inter-individual, lo cual es una seria amenaza para la validez de las presunciones previamente señaladas. Este último punto está destacado en los análisis de error contenidos en la Tabla 3. Está claro que la variación en la composición de la MM puede causar considerables errores individuales en los modelos de dos compartimentos cuando los sujetos se encuentran en los extremos de la población adulta. Sin embargo, los errores para las medias grupales serán mucho menores que los estipulados en la Tabla 3. Por ejemplo, la media hidrodensitométrica (en el modelo de dos compartimentos) de 15.3 % (DS = 6.7 % GC), para los 29 sujetos (cuyos datos están graficados más adelante, en este capítulo) fue 2.9 % GC menor que la de 18.2 % GC (DS = 6.3 % GC) del modelo de criterio de cuatro compartimentos (ver sección 3.2.1), el cual controla la variabilidad inter-individual en el ACT ; y el MO. Un problema agregado con los modelos de composición corporal de dos s compartimentos ocurre cuando la MG es la variable de interés. En este caso, los errores biológicos y de medición para el componente mayor de MM (MM determinada por dilución isotópica, o por KCT) se propagan al componente menor del modelo, que es la MG, la cual se calcula por sustracción. Por lo tanto, un error del 3 % para la MM (supongamos: peso = 80 - kg; MM = 68 kg; MG = 12 kg) se traslada a un error del 17 % para la MG.

Cambio en % MM para	límites de confianza del 95% (b)	Modelo de dos compartimentos		Modelo de 3 comp.(d)	Modelo de 4 comp. (d)
		Hidrodensitometría	agua corporal total		
AGUA	+1.02 0 -3.92	+6.22 0 -6.00	-4.52 0 +4.52	0 0 0	0 0 0
PROTEINA	+3.90 0 -3.90	-3.22 0 +3.45	+4.12 0 -4.12	+0.97 0 -0.92	+0.30 0 -0.26
MINERAL OSEO	+1.35 0 -1.35	-3.36 0 +3.58	+1.21 0 -1.21	-0.75 0 +0.80	0 0 0
MINERALES NO OSEOS	+0.11 0 -0.11	-0.17 0 +0.40	+0.09 0 0.09	-0.05 0 +0.09	-0.08 0 +0.12

**TABLA 3.** Errores (a) en la estimación de la grasa corporal relativa para un sujeto masculino (15 % GC), cuando el componente de la MM aumenta (b), o disminuye (b), mientras las cantidades absolutas (kg) de grasa y MM permanecen constantes (c).

- Una densidad de 1.064682 gr.cm<sup>-3</sup> resulta en un 15 % GC, usando la ecuación de Brozek y cols. (1963). Sin embargo, el aumento en la hidratación de la MM de 73.72 % a 77.64 % disminuye la MM, y las densidades corporales totales a 1.082482 y 1.050675 gr.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. La hidrodensitometría convencional arroja una GC del 21.22 %, lo cual es 6.22 % superior que el valor real de 15. % GC.
- Estos aumentos y disminuciones en el % GC representan los límites de confianza del 95 % para mediciones «in vivo», en 13 hombres y mujeres con un rango de edad entre 24 y 94 años (Heymsfield y cols., 1989a). Este rango, presumiblemente, abarca el 95 % de la variabilidad en la población adulta.
- Por lo tanto, si aumenta el ACT, entonces los otros tres compartimentos de la MM disminuyen proporcionalmente, para mantener una MM del 85 % del peso corporal.
- Los modelos de tres y cuatro compartimentos son derivados más adelante en este capítulo.

## 2. MODELOS DE TRES COMPARTIMENTOS

### 2.1 Introducción

Cada uno de los modelos de tres compartimentos, presentados en esta Sección, controlan la variabilidad biológica de un componente de MM. El peso y el volumen del componente medido «in vivo» se restan luego del peso y volumen (peso/densidad) de todo el cuerpo. El resto es luego repartido en dos compartimentos (MG y otro)», de densidades conocidas o supuestas.

### 2.2 Los modelos

#### 2.2.1 Siri

La MM comprende: agua, proteínas, MO y MNO (Figura 1). La Tabla 2 indica que el agua tiene un impacto significativo sobre la densidad (le la MM porque tiene la densidad mas baja', pero comprende por lejos la mayor fracción de cualquiera de los cuatro compartimentos. Además, la hidratación de la MM es variable. Siri (1961) identificó la variación en la hidratación de la MM (DS = 2 % del peso corporal) como la mayor fuente de error en el modelo hidrodensitométrico de dos compartimentos. En consecuencia, Siri propuso un modelo de tres compartimentos (MG, agua, sólidos secos libres de grasa, o magros) el cual estaba basado en mediciones tanto de la DC; como del ACT. Este modelo se muestra en la Figura 1, y nuestra fórmula modificada está derivada en la Figura 5.

El modelo original utilizaba densidades de MG y sólidos secos magros de 0.9000 y 1.565; gr.cm<sup>-3</sup> respectivamente. Nosotros hemos utilizado el valor previamente justificado de 0.9007 gr.cm<sup>-3</sup> para la densidad de la MG (a 36 gr C) y nuestra densidad de 1.569 gr.cm<sup>-3</sup> para sólidos magros supone un cociente minerales/proteínas de 0.354, el cual

corresponde exactamente al de la media de los tres cadáveres analizados en la Tabla 2. Siri (1961) alegó que el error total para este modelo podía reducirse solamente si el desvío standard para el cociente total de minerales/proteínas era < 0.1. Mediciones en vivo en 31 hombres y mujeres (media +/- DS: 58 +/- 20 años) llevadas a cabo por Heymsfield y cols. (1990) demostraron posteriormente que el cociente minerales/proteínas es de 0.33 +/- 0.08. Por lo tanto, el error podría ser algo menor que el pensarlo originalmente por Siri (1961). El sugirió que el desvío standard del error para el modelo hidrodensitométrico de dos compartimentos de 1.0 % GC, que se debe a una combinación de variabilidad biológica en la densidad de la MM con el error técnico, se reduciría a 2 % GC para su modelo de tres compartimentos, si el error para la medición del ACT' fuera del 2 % del peso corporal. La reducción del último error a 1 % del peso disminuiría el desvío standard para el error total a 1.5 % CC. Sin embargo, pocos investigadores han utilizado este modelo que no está influenciado por una hidratación normal. Un problema menor con este modelo y con el hidrodensitométrico es que ignoran el componente de glucógeno, que presumiblemente no fue considerado en los análisis cadavéricos debido a la cantidad relativamente pequeña (~ 300-500 gr o ~ 1 % MM), y a la rápida autólisis post-mortem. Mientras que ahora se pueden estimar las reservas glucogénicas en vivo, usando espectroscopía con resonancia magnética nuclear <sup>13</sup>C su densidad (glucosa = 1.562 gr.cm<sup>-3</sup>; Weast, 1975, C-311) es similar a la de las proteínas y los magros sólidos. Además, la mayoría de las mediciones de composición corporal se llevan a cabo temprano en la mañana, cuando el sujeto está en estado de post-absortivo, de manera que las reservas glucogénicas podrían ser lajas. Por lo tanto, cualquier error probablemente sea mínimo.

$$\frac{1}{DC} = \frac{MG}{\text{densidad}MG} + \frac{A}{\text{densidad}A} + \frac{SMS}{\text{densidad}SMS}$$

$$MG = \text{densidad}MG \left[ \frac{1}{DC} - \frac{A}{\text{densidad}A} - \left( \frac{1 - MG - A}{\text{densidad}SMS} \right) \right]$$

$$MG = 0.9007 \left[ \frac{1}{DC} - \frac{A}{0.9937} - \left( \frac{1 - MG - A}{1.569} \right) \right]$$

$$MG = \frac{0.9007}{DC} - 0.906410 A - 0.574060 + 0.574060 MG + 0.574060 W$$

$$0.425940 MG = \frac{0.9007}{DC} - 0.332350 A - 0.574060$$

$$MG = \frac{2.114617}{DC} - 0.780274 A - 1.347749$$

$$\% MG \text{ o } \% GC = \frac{211.5}{DC} - 78.0 A - 134.8$$

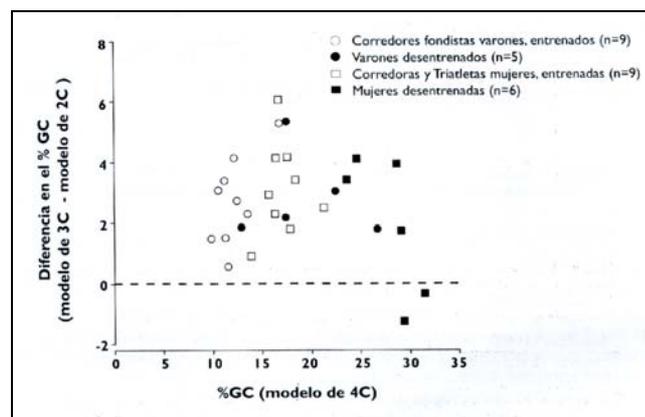
**FIGURA 5.** Derivación del modelo de tres compartimentos (aMG, bACT, cSMS), para estimar la grasa corporal relativa a partir de las mediciones de la DC<sup>e</sup> y ACT.

Presunciones: Densidad de la MG = 0.9007 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Fidanza y cols., 1953)  
 Densidad del agua (A) = 0.9937 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Lentner, 1981, 50; Weast, 1975, F-5)  
 Densidad de los sólidos magros secos (SMS) = 1.569 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Brooke y cols., 1963)

Si el peso corporal (kg) es igual a la unidad (es decir, 1), y los tres compartimentos son representados como proporciones de tal manera que MG + A + SMS = 1.0, entonces la fórmula puede ser derivada simplemente como se muestra arriba, donde <sup>a</sup>MG = masa grasa; <sup>b</sup>ACT o A = agua corporal total; <sup>c</sup>SMS = sólidos magros secos; <sup>d</sup> = igual que la ecuación de Siri (1961), excepto los valores utilizados para «densidad MG» y «densidad SMS»; <sup>e</sup>DC = densidad corporal; Agua = Agua (kg)/peso corporal (kg).

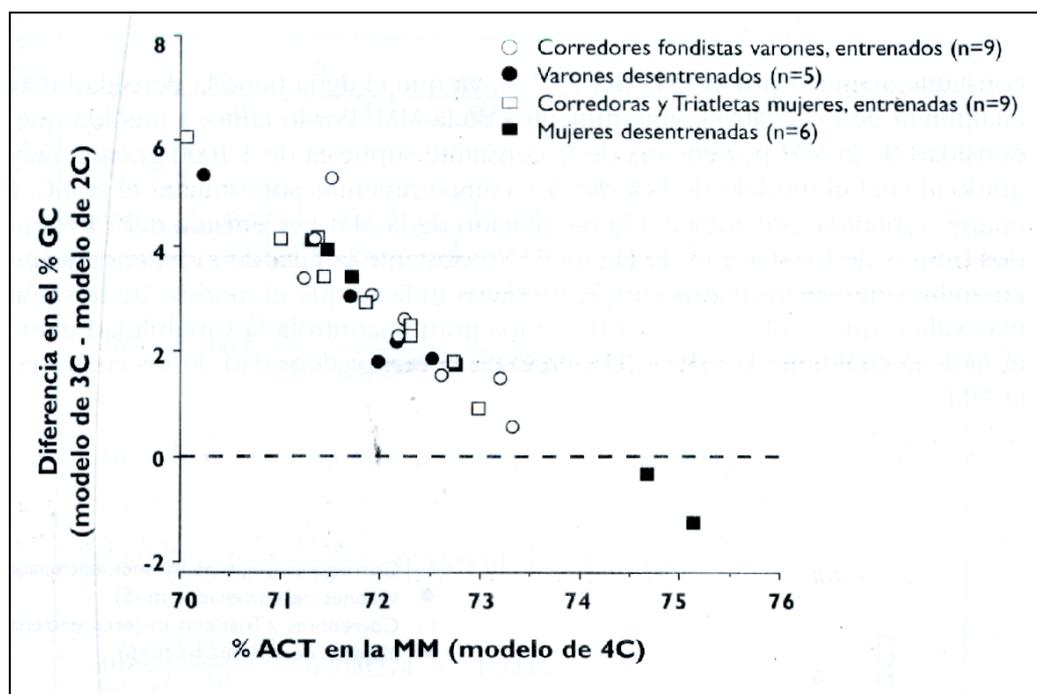
El aumento en la validez alcanzado por la combinación de la DC y ACT (modelo de tres compartimentos), en oposición con la medición de la DC solamente (modelo de dos compartimentos) está señalado en la Figura 6, en la cual las diferencias en el % GC entre estos dos modelos están graficadas vs. los % GC a través del modelo de criterio de cuatro compartimentos, el cual se describe más adelante. Las desviaciones de la línea punteada horizontal (en el cero del eje de las Y en la Figura 6) representan los grandes errores (rango = -1.3 a 6.1 % GC) que ocurren cuando el evaluador no controla la variabilidad biológica en el ACT, sino que en cambio supone que la hidratación de la MM es del 73.7 % (Tabla 2). La

variabilidad de estos errores se debió al amplio rango de la hidratación de la MM, el cual, según indica la Figura 7, fue del 70.1 al 75.1 % (media +/- DS: 72.1 +/- 1.1 %). Esta cifra también muestra claramente una relación lineal negativa entre la hidratación de la MM y las diferencias entre los dos modelos. Esto es porque, siendo todas las otras cosas iguales, la densidad de la MM aumenta a medida que disminuye su hidratación, por debajo de la constante asumida por el PHS del 73.7 %, ya que el agua tiene la densidad más baja que cualquiera de los cuatro compartimentos de la MM. Por lo tanto, a medida que aumenta la densidad de la MM por encima de la constante supuesta de 1.1000 gr.cm<sup>-3</sup>, mayor será el grado al cual el modelo de PHS de dos compartimentos subestimaré el % GC. Lo opuesto ocurre a medida que aumenta la hidratación de la MM por encima del 73.7 %; esto se aplica a dos puntos de los datos en la Figura 7. No obstante la falta de independencia entre variables en ambos ejes de las Figuras 6 y 7, los datos indican que el modelo de tres compartimentos es más válido que el de dos compartimentos porque controla la variabilidad inter-individual en el ACT, la cual tiene la mayor proporción y la menor densidad de los cuatro componentes de la MM.



**FIGURA 6.** Diferencias en el % GC entre los modelos de 3 y 2 compartimentos (C), graficados vs. el % GC a través del modelo de 4 compartimentos.

Los datos en estos sujetos de 18-36 años (media +/- DS: 23 +/- 5 años) fueron recolectados en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Australia del Sur, y en el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Royal Adelaide.



**FIGURA 7.** Diferencias en el % GC entre los modelos de 3 y 2 compartimentos (C), graficados vs. el %, de agua corporal total (ACT) en la MM, determinado a través del modelo de 4 compartimentos.

Los datos en estos sujetos de 18-36 años (media +/- DS: 23 +/- 5 años) fueron recolectados en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Australia del Sur, y en el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Royal Adelaide.

### 2.2.2 Lohman

Lohman (1986) utilizó el mismo marco conceptual que Siri (1961; ver nuestra Figura 5) para derivar el siguiente modelo de tres compartimentos (grasa, minerales, [proteínas + agua]):

$$\%GC = \frac{638.6}{DC} + 396.1m - 609.0$$

donde,  $m$  = minerales, corlo una fracción del peso corporal

Este modelo asume densidades para la grasa, minerales, y [proteínas más agua] de 0.9007, 3.037, y 1.0486 gr.cm<sup>-3</sup>, respectivamente (Lohman, 1992, p.19). El investigador reconocía que, si bien la ecuación no es ideal para niños y Jóvenes, debido a los cambios conocidos en la proporción agua/proteínas durante el crecimiento, podría ser útil para los adultos y los sujetos mayores. La ventaja de este modelo sobre la hidrodensitometría de dos

compartimentos es que tiene en cuenta la variabilidad biológica en los MO, los cuales componen ~ 5.6 % de la MM con una densidad relativamente elevada de 2.982 gr.cm<sup>-3</sup>. Sin embargo, la discusión en la sección 3.2.1 demuestra que, para algunos grupos, se logra escasa precisión adicional midiendo los MO.

### 2.3 Resumen

La ecuación de Siri de tres compartimentos (1961) parece ser la más lógica para utilizar, ya que tiene en cuenta la variabilidad biológica en el ACT. Los análisis de error en la Tabla 3 enfatizan concordantemente su superioridad sobre los modelos de dos compartimentos. Sin embargo, la ecuación de Lohman (1986) constituye una mejoría sobre el modelo hidrodensitométrico de dos compartimentos.

## 3. MODELOS DE CUATRO COMPARTIMENTOS

### 3.1 Introducción

Los dos modelos siguientes, de cuatro compartimentos, son extensiones lógicas de los modelos de tres compartimentos previamente discutidos, en cuanto a que controlan la variabilidad inter-individual en más de uno de los cuatro componentes de la MM.

### 3.2 Modelos

#### 3.2.1 Modelo 1

El advenimiento de la DPA, y su sucesora la DEXA, dio un impulso a la investigación en composición corporal porque permitieron medir la masa de mineral óseo «in vivo». Esta técnica está descrita en la literatura (Mazess, Pepler, & Gibbons, 1984; Mazess, Barden, Bisele, & Hanson, 1990). La tecnología actual expone al sujeto a menos de la quinta parte ( $0.3 \mu\text{Sv}$ ) de la radiación diaria ( $\sim 2 \mu\text{Sv}$ ). El contenido de mineral óseo (CMO) medido por DEXA representa ceniza de hueso (Friedl y cols., 1992). Méndez y cols. (1960) han reportado que un gramo de mineral óseo lleva a  $0.9582 \text{ gr}$  de ceniza, porque los compartimentos lábiles, tales como  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ , se pierden durante el calentamiento a más de  $500 \text{ gr C}$  (Heymsfield y cols., 1989b). El CMO necesita, por lo tanto, ser convertido a MO aumentándolo un  $4.36\%$  (Brozek y cols., 1963; Heymsfield y cols., 1989a; 1989b). Las series de mediciones para confiabilidad para MO (utilizando DEXA), llevadas a cabo en el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Royal Adelaide en un grupo de seis sujetos, produjeron un coeficiente de correlación intraclassa de  $0.998$  y un ETM de  $25 \text{ gr}$  o  $0.9\%$  (Figura 8).

Por lo tanto, es posible proponer un modelo de cuatro compartimentos (grasa, agua, MO, masa residual), el cual está basado en las mediciones de la DC, ACT, y MO. En este modelo, los pesos y los volúmenes para el agua y el MO son sustraídos del peso y del volumen (peso/ densidad) de todo el cuerpo permitiendo, por lo tanto, que el resto sea dividido en dos compartimentos (MG y masa residual), de densidades conocidas o presuntas. Este modelo está presentado en la Figura 1 y la fórmula está derivada en la Figura 9.

Modelos similares de cuatro compartimentos han sido propuestos por otros investigadores (Baumgartner y cols., 1991; Friedl y cols., 1992; Fuller, Jeb, Laskey, Coward, & Elia, 1992; Heymsfield y cols., 1990; Lohman, 1986), quienes también midieron la DC, el ACT, y el MO. La mayoría de estos científicos estimaron los MNO a partir del cociente entre esta variable y los MO para los análisis cadavéricos clásicos (Tabla 2), para arribar a un valor total de minerales corporales; y luego dividieron el resto en masa grasa y proteínas. Sin embargo, Friedl y cols. (1992) utilizaron un componente residual (principalmente proteínas, algo de minerales no óseos, algo de glucógeno) con una densidad de  $1.39 \text{ gr.cm}^{-3}$ , el cual estuvo basado en mediciones reales llevadas a cabo por Allen, Krzywicki, y Roberts (1959) en

muestras en animales y tejido humano a  $15$  y  $37 \text{ gr C}$ . La densidad combinada de proteínas y MNO para los datos en la Tabla 2 también es de  $1.39 \text{ gr.cm}^{-3}$ . Sin embargo, nosotros preferimos, en cambio, basar nuestra densidad residual en las  $364$  muestras de tejido que fueron medidas a  $37 \text{ gr C}$  (Allen y cols., 1959). Estos datos arrojan una densidad residual de  $1.404 \text{ gr.cm}^{-3}$ . La densidad levemente superior de este componente libre de grasa y hueso, en comparación con la de la combinación entre proteínas y MNO en la Tabla 2, podría deberse al pequeño componente glucogénico (glucosa =  $1.562 \text{ gr.cm}^{-3}$ ; Weast, 1975, C-311).

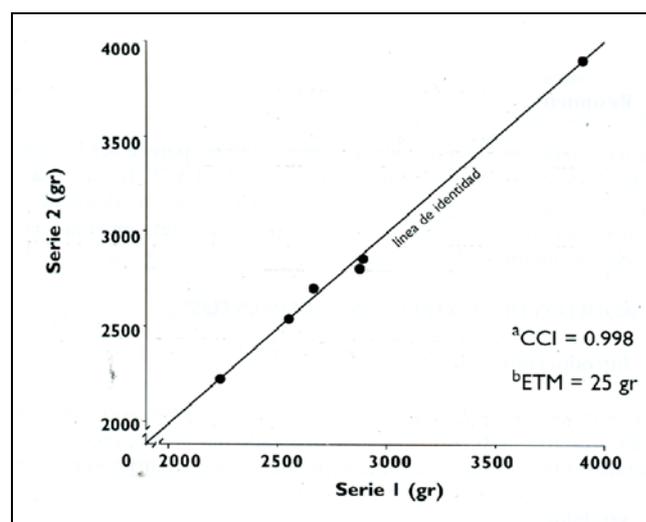


FIGURA 8. Datos de confiabilidad ( $n=6$ ) para la medición de mineral óseo, a través de la absorciometría de doble energía por Rayos X.

<sup>a</sup>CCI = coeficiente de correlación intraclassa; <sup>b</sup>ETM = error técnico de medición.

Los modelos de tres y cuatro compartimentos son, en teoría, más válidos que los de dos compartimentos porque están asociados con un menor error, cuando las proporciones de agua, proteínas, y minerales en la MM varían de las indicadas en la Tabla 2. Sin embargo, cuando las diferencias en el % GC entre los modelos de cuatro y tres compartimentos están graficadas vs. el % GC surgido del modelo de criterio de cuatro compartimentos (Figura 10), las desviaciones individuales del cero son muy pequeñas (rango =  $-0.4$  a  $0.8\%$  GC). Estas diferencias con respecto al cero representan el error remanente, luego del control de la variabilidad inter-individual en el ACT, pero no en los MO. Claramente, se logra poca precisión adicional midiendo los MO. Los diferentes efectos en el control de la variabilidad biológica en el ACT y MO (comparar las Figuras 6 y 10) se deben principalmente al cociente total MO/MM (%) de  $5.92\%$  (DS =  $0.48\%$ ), siendo mucho más cercano al valor

cadavérico clásico de 5.63 % que a los correspondientes valores de 72.1 +/- 1.1 % y 73.72 %, respectivamente, para la hidratación de la MM. Una

consideración secundaria es que la variabilidad, como un % MM, es mayor para el ACT (DS = 1.1 % MM) que para el MO (DS = 0.48%).

$$\frac{1}{DC} = \frac{MG}{\text{densidad}^a MG} + \frac{b A}{\text{densidad}^a A} + \frac{MO}{\text{densidad}^c MO} + \frac{R}{\text{densidad}^d R}$$

$$MG = \text{densidad}^a MG \left[ \frac{1}{DC} - \frac{A}{\text{densidad}^a A} - \frac{MO}{\text{densidad}^c MO} - \left( \frac{1 - MG - A - MO}{\text{densidad}^d R} \right) \right]$$

$$MG = 0.9007 \left[ \frac{1}{DC} - \frac{A}{0.9937} - \frac{MO}{2.982} - \left( \frac{1 - MG - A - MO}{1.404} \right) \right]$$

$$MG = \frac{0.9007}{DC} - 0.906410 A - 0.302046 MO - 0.641524 + 0.641524 MG$$

$$+ 0.641524 A + 0.641524 MO$$

$$0.358476 MG = \frac{0.9007}{DC} - 0.264886 A + 0.339478 MO - 0.641524$$

$$MG = \frac{2.512581}{DC} - 0.738923 A + 0.947003 MO - 1.789587$$

$$\% MG \text{ o } \% GC = \frac{251.3}{DC} - 73.9^s A + 94.7^h MO - 179.0$$

**FIGURA 9.** Derivación del modelo de cuatro compartimentos (<sup>a</sup>MG, <sup>b</sup>ACT, <sup>c</sup>MO, <sup>d</sup>R), para estimar la grasa corporal relativa a partir de las mediciones de la DCE, ACT, y MO.

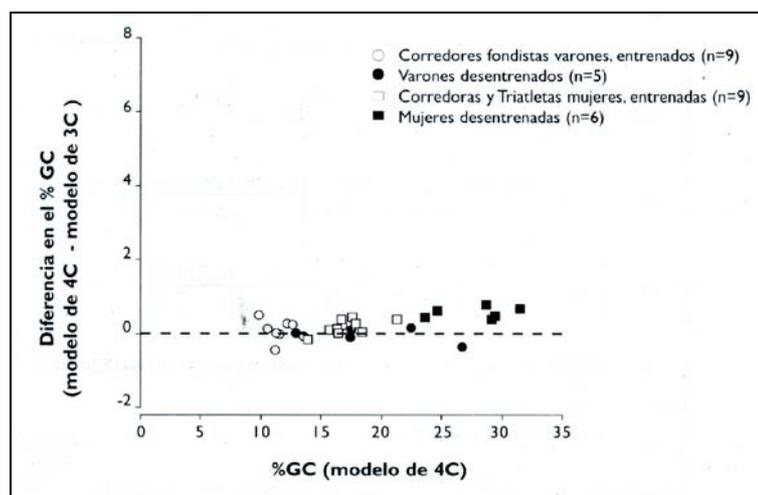
Presunciones: Densidad de la MG = 0.9007 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Fidanza y cols., (1953).

Densidad del agua (A) = 0.9937 gr.cm<sup>-3</sup> a 36° C (Lentner, 1981, 50; Weast, 1975, F-5)

Densidad del mineral óseo (MO) = 2.982 gr.cm<sup>-3</sup> (Méndez y cols., 1960)

Densidad (f) de la masa residual (R) = 1.404 gr.cm<sup>-3</sup> (Allen y cols., 1959).

Si el peso corporal (kg) es igual a la unidad (es decir, 1), y los cuatro compartimentos son representados como proposiciones, de tal modo que MG + A + MO + R = 1.0, entonces la fórmula puede ser derivada simplemente como se muestra arriba, donde <sup>a</sup>MG = masa grasa; <sup>b</sup>ACT o A = agua corporal total; <sup>c</sup>MO = mineral óseo; <sup>d</sup>R = masa residual; <sup>e</sup>DC = densidad corporal; media de peso calculada por Allen y cols. (1959), en muestras a 37° C; <sup>s</sup>A = Agua (kg)/masa corporal (kg); <sup>h</sup>MO = CMO a partir de DEXA x 1.0436 (kg)/masa corporal (kg).



**FIGURA 10.** Diferencias en el % GC entre los modelos de 4 y 3 Compartimentos (C), graficados vs. el % GC, determinado a través del modelo de 4 compartimentos. Los datos en estos sujetos de 18-36 años (media +/- DS: 23 +/- 5 años) fueron recolectados en el Laboratorio de Fisiología del Ejercicio de la Universidad de Australia del Sur, y en el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital Royal Adelaide.

### 3.2.2 Modelo 2

Este modelo está presentado en la Figura 1. Cohn y colaboradores (Cohn, Vaswani, Yasumura, Yuen, & Ellis, 1984) en el Laboratorio Nacional Brookhaven, fueron de los primeros en desarrollar el modelo 2, el cual posteriormente fue mejorado por Heymsfield y cols. (1990). Tres compartimentos (ACT, proteínas, combinación de MO y MNO) de la MM, mostrados en el análisis cadavérico clásico de la Figura 1, son medidos y luego sustraídos del peso corporal para llegar a la MG:

- ACT - determinada por dilución de tritio ( $^3\text{H}_2\text{O}$ ) utilizando los mismos principios anteriormente señalados para la dilución de deuterio ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ). Este trazador expone a los sujetos a una dosis de radiación de 120  $\mu\text{Sv}$  (Heymsfield y cols., 1991).
- Proteínas - se mide el nitrógeno corporal total a través del análisis de la activación neutrónica gamma (exposición a la radiación = 260  $\mu\text{Sv}$ ; Heymsfield & Waki, 1991). Como se explicó previamente, las proteínas se estiman suponiendo un cociente P/N de 6.25.
- Total de minerales corporales - el total de calcio corporal, sodio y cloruro es determinado por análisis de activación neutrónica gamma demorada, el cual produce una exposición total a la radiación de 2.500

Por lo tanto, el modelo 2 supone la exposición del sujeto a una radiación considerablemente mayor que el modelo 1 (2800  $\mu\text{Sv}$  vs. 0.3  $\mu\text{Sv}$ ). Además, está

mucho menos disponible a nivel mundial, y es más complejo y más costoso de implementar.

### 3.3 Resumen

Los modelos químicos de cuatro compartimentos para el análisis de la composición corporal son teóricamente más válidos que los de tres compartimentos, debido a su control adicional sobre la variabilidad biológica de los compartimentos de la MM. Esto se señala en el análisis de error teórico de estos modelos, en la Tabla 3. Claramente, gran parte del aumento en la validez resulta de pasar del modelo de dos compartimentos al de tres. La medición adicional del MO sólo aporta un pequeño incremento en la precisión. Si bien las proporciones «in vivo» de dos o más componentes de la MM pueden diferir simultáneamente de las proporciones de los análisis cadavéricos clásicos (Tabla 2), un modelo simple ha sido adoptado por la Tabla 3, en el cual cada componente difiere independientemente de los otros tres. En conclusión, existe la duda si el control adicional resultante sobre la variabilidad biológica de la MM podría ser compensado por la propagación del error de medición, asociado con las determinaciones de la DC, ACT, y MO.

Este error total o propagado puede ser calculado suponiendo que los cuadrados de los errores o las variancias del error (error standard de la estimación<sup>2</sup> [SEE<sup>2</sup>] o ETM<sup>2</sup>) son independientes y aditivos:

$$DS \text{ del error total} = \sqrt{SEE^2_a + SEE^2_b + SEE^2_c} \cdot \sqrt{ETM^2_a + ETM^2_b + ETM^2_c}$$

donde:

$a$  = cálculo del % GC, a partir de la DC

$b$  = cálculo del % GC, a partir del ACT

$c$  = efecto del mineral óseo sobre el % GC

Los datos de confiabilidad test-retest recolectados en nuestro laboratorio arrojaron desvíos standard, para el error propagado o total, de 0.9 y 0.6 % GC para el SEE y ETM, respectivamente. El SEE incluye tanto la variancia de error entre sujetos como intra-sujeto, mientras que el ETM, definido como el error standard de una medición única (Dahlberg, 1940: pp. 122-132), considera sólo el último. Por lo tanto, el desvío standard para el error total vía el  $ETM < SEE$ . De cualquier modo, estos errores son mucho menores que el ocasionado por la variabilidad biológica en la densidad de la MM ( $DS = 3.8$  % GC) cuando la composición corporal es estimada a través del método hidrodensitométrico de los compartimientos (Siri, 1956; 1961). Nuestros errores propagados pueden bien representar el límite técnico de precisión para la estimación de la composición corporal a través del método indirecto de cuatro compartimientos. Sin embargo, si bien se puede confiar en los valores utilizados para las densidades del agua y grasa extraída químicamente, habrá algunos errores no contabilizados, debido a las presunciones en el modelo de cuatro compartimientos, tales como las densidades de las proteínas, MO, y MNO, la validez de las mediciones del CMO, y el uso del factor de corrección de 4 % para el intercambio de hidrógeno no acuoso, cuando se estima el ACT a través de la dilución de deuterio.

#### 4. MODELOS MAS COMPLEJOS Y DESARROLLOS FUTUROS

Han surgido modelos químicos más sofisticados de cinco compartimientos (Ryde, Birks, Morgan, Evans, & Dutton, 1993) y del carbono corporal total (CCT; Heymsfield y cols., 1991). El último método es digno de mencionar ya que actualmente representa lo más moderno en el análisis de la composición corporal. Este método está basado en la observación de que el carbono corporal está incorporado en los cuatro compartimientos en el nivel molecular: grasas, proteínas, glucógeno, y MO. El método del CCT fue derivado de los siguientes cuatro modelos

simultáneos, donde todas las unidades están en kilogramos:

$$(1) \text{ CCT} = 0.77 \times \text{grasa} + 0.532 \times \text{proteínas} + 0.444 \times$$

glucógeno + carbono en MO

$$(2) \text{ NCT} = 0.16 \times \text{proteínas}$$

$$(3) \text{ Glucógeno} = 0.044 \times \text{proteínas}$$

$$(4) \text{ Carbono en MO} = 0.05 \times \text{CGT a}$$

Las ecuaciones simultáneas pueden ser resueltas:

$$(5) \text{ grasa} = 1.30 \times \text{CCT} - 4.45 \times \text{NCT} - 0.06 \times \text{CCT a}$$

En la ecuación 5, CCT, CCT a, y NCT son el carbono, el calcio, y el nitrógeno corporal total, los cuales son medidos por escaneo inelástico, análisis de activación neutrónica gamma demorado y rápido, respectivamente. El método del CCT tiene dos características intrínsecas: está basado en modelos altamente estables que no están afectados (en un grado apreciable) por la edad, el sexo, o las características étnicas, y brinda estimaciones de la adiposidad que son independientes a los métodos clásicos de dos compartimientos. Si bien el error propagado del método del M' para la medición de la grasa corporal es de 3.4-4.0 %, los investigadores (Heymsfield y cols., 1991) apuntan a desarrollar el método hacia un nivel de - precisión igual, o superior, a los análisis químicos directos de cadáveres. Por lo tanto, aunque el método del CCT no es utilizado ampliamente, debido a la necesidad de contar con tres sistemas de activación neutrónica, es importante en el estudio total de la composición corporal del ser humano. También se están introduciendo nuevas tecnologías poderosas que prometen expandir las posibilidades de medición de variables hasta ahora no evaluadas, tales como el músculo esquelético y el glucógeno. Por lo tanto, el estudio de la composición corporal ofrece un amplio potencial para la investigación futura.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

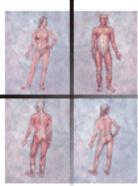
- Allen, TH., Krzywicki, H.J., & Roberts, J.E. (1959).  
Density, fat, water and solids in freshly isolated tissues.  
**Journal of Applied Physiology**, **14**, 1005-1008.
- Baumgartner, R.N., Heymsfield, S.B., Lichtman, S., Wang, J., & Pierson, R.N. (1991).  
Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations.  
**American journal of Clinical Nutrition**, **53**, 1345-1353.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T., & Keys, A. (1963).  
Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions.  
**Is of the NewYork Academy of Sciences**, **110**, 113-140.
- Burton, A.C. (1935).  
Human calorimetry II. The average temperature of the tissues of the body.  
**Journal of Nutrition**, **9**, 261-279.
- Buskirk, E. R. (1961).  
I It inderwater weighing and body density: a review of procedures.  
In j Brozek & A. Henschel (Eds.), **Techniques for measuring body composition** (pp 90-106).  
Washington DC: National Academy of Sciences - National Research Council.
- Cohn, S.H .Vaswani,A.N.,Yasumura, S.,Yuen, M.S., & Ellis, K.J. (1984).  
Improved models for determination of body fat by *in vivo* neutron activation.  
**American journal of Clinical Nutrition**, **40**, 255-259.
- Coward A. (1990).  
Calculation of pool sizes and flux rates.  
In A. M. Prentice (Ed.), **The doubly-labelled water method for measuring energy expendinditure** (pp. 48-68). Vienna: International Atomic Energy Agency.
- Culebras, J.M., & Moore, F.D. (1977).  
Total body water and the exchangeable hydrogen. I. Theoretical calculation of nonaqueous exchangeable hydrogen in man.  
**American journal of Physiology (Regulatory, Integrative and Comparative Physiology)**, **232**, R54-R59.
- Dahlberg, G. (1940).  
**Statistical methods for medical and biological students**.  
London: George Allen and Unwin Ltd.
- Dallemagne, M.J., & Melon, J. (1945).  
Le poids spécifique et l'indice de réfraction de Vos, de l'émail, de la dentine et du ciment.  
**Bulletin de la Société de chimie biologique**, **27**, 85-89.
- Deurenberg, P. Weststrate, J.A., & van der Kooy, K. (1989).  
Is an adaptation of Siri's formula for the calculation of body fat percentage from body density in the elderly necessary?  
**European Journal of Clinical Nutrition**, **43**, 559-568.
- Fidanza, F., Keys, A.. & Anderson, J.T. (1953).  
Density of body fat in man and other mammals.  
**Journal of Applied Physiology**, **6**, 252-256.
- Forbes, G.B., & Lewis, A.M. (1956).  
Total sodium, potassium and chloride in adult man.  
**Journal Clinical Investigation**, **35**, 596-600.
- Forbes, G.B., Gallup, J., & Hursh, J.B. (1961).  
Estimation of total body fat from potassium-40 content.  
**Science**, **133**, 101-102.
- Forbes, G. B. (1987).  
**Human body composition: growth, aging, nutrition, and activity** (p. 39).  
New York: Springer-Verlag.
- Friedl, K.E., DeLuca, J.P, Marchitelli, L. J., Vogel, J.A. (1992).  
Reliability of body-fat estimations from a four-component model by using density, body water, and bone mineral measurements.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, **55**, 764-770.

- Fuller, N.J., Jebb, S.A., Laskey, M.A., Coward, W.A., & Elia, M. (1992).  
Four-component model for the assessment of body composition in humans: comparison with alternative methods, and evaluation of the density and hydration of fat-free mass.  
**Clinical Science**, **82**, 687-693.
- Garrow, J.S., Stalley, S., Diethelm, R., Pittett, P.H., Hesp, R., & Halliday, D. (1979).  
A new method for measuring the body density of obese adults.  
**British Journal of Nutrition**, **42**, 173-183.
- Gundlach, J.S., & Visscher, G.J.W. (1986).  
The plethysmographic measurement of total body volume.  
**Human Biology**, **58**, 783-799.
- Haschke, F, Fomon, S.L., & Ziegler, E.E. (1981).  
Body composition of a nine-year-old reference boy.  
**Pediatric Research**, **15**, 847-849.
- Haurowitz, F (1963).  
**The chemistry and function of proteins** (p. 119)  
New York: Academic Press.
- Hewitt, M.J., Going, S.B., Williams, D.P, & Lohman, T.G. (1993).  
Hydration of the fat-free body mass in children and adults: implications for body composition assessment.  
**American Journal of Physiology (Endocrinology and Metabolism)**, **265**, E88-E95.
- Heymsfield, S.B., Wang, J., Kehayias, J., Heshka, S., Lichtman, S., & Pierson, R.N. (1989a).  
Chemical determination of human body density *in vivo*: relevance to hydrodensitometry.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, **50**, 1282-1289.
- Heymsfield, S.B., Wang, J., Lichtman, S., Kamen, Y, Kehayias, J., & Pierson, R.N. (1989b).  
Body composition in elderly subjects: a critical appraisal of clinical methodology.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, **50**, 1167-1175.
- Heymsfield, S.B., Lichtman, S., Baumgartner, R.N., Wang, J., Kamen, Y., Aliprantis, A., & Pierson, R.N. (1990).  
Body composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, **52**, 52-58.
- Heymsfield, S.B., Waki, M., Kehayias, J., Lichtman, S., Dilmanian, F.A., Kamen, Y., Wang, J., & Pierson, R.N. (1991).  
Chemical and elemental analysis of humans *in vivo* using improved body composition models.  
**American Journal of Physiology (Endocrinology and Metabolism)**, **261**, E190-E198.
- Heymsfield, S.B., & Waki, M. (1991).  
Body composition in humans: advances in the development of multicompartiment chemical models.  
**Nutrition Reviews**, **49**, 97-108.
- Heymsfield, S.B., Wang, Z.M., & Withers, R.T (in press).  
Multicompartiment molecular-level models of body composition analysis.  
In A.F Roche, S.B. Heymsfield, & T.G. Lohman (Eds.),  
**Human body composition**. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Hulmes, D.J.S., & Miller, A. (1979).  
Quasi-hexagonal molecular packing in collagen fibrils.  
**Nature (London)**, **282**, 878-880.
- Keys, A., & Brozek, J. (1953).  
Body fat in adult man.  
**Physiological Reviews**, **33**, 245-325.
- Knight, G.S., Beddoe, A.H. Streat, S.J.; & Hill, G.L. (1986).  
Body composition of two human cadavers by neutron activation and chemical analysis.  
**American Journal of Physiology (Endocrinology and Metabolism)**, **250**, E 179-E 185.

- Lentner, C. (Ed.). (1981).  
**Geigy scientific tables: Vol. I. Units of measurement, body fluids, composition of the body, nutrition.**  
 Basle: Ciba Geigy Ltd.
- Lifson, N., Gordon, G.B., & McClintock, R. (1955).  
 Measurement of total carbon dioxide production by means of  $D_2O^{18}$ .  
**Journal of Applied Physiology**, 7, 704-710.
- Lohman, T.G. (1981).  
 Skinfolts and body density and their relation to body fatness: a review.  
**Human Biology**, 53, 181-225.
- Lohman, T.G. (1986).  
 Applicability of body composition techniques and constants for children and youths (1986).  
 In K.B. Pandolf (Ed.), **Exercise and Sport Sciences Reviews, Volume 14** (pp. 325-357).  
 New York: Macmillan Publishing Company.
- Lohman, T.G. (1992).  
**Advances in body composition assessment.**  
 Champaign, Illinois: Human Kinetics Publisher
- Mazess, R.B., Pepler, W.W., & Gibbons, M. (1984).  
 Total body composition by dual-photon ( $^{153}Gd$ ) absorptiometry.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, 40, 834-839.
- Mazess, R.B., Barden, H.S., Bisek, J.P., & Hanson, J. (1990).  
 Dual-energy X-ray absorptiometry for total body and regional bone-mineral and soft-tissue composition.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, 51, 1106-1112.
- Méndez, J., Keys, A., Anderson, J.T., & Grande, F. (1960).  
 Density of fat and bone mineral of the mammalian body.  
**Metabolism**, 9, 472-477.
- Mitchell, H.H., Hamilton, T.S., Steggerda, F.R., & Bean, H.W. (1945).  
 The chemical composition of the adult human body and its bearing on the biochemistry of growth.  
**Journal of Biological Chemistry**, 158, 625-637.
- Nagy, K.A. (1980).  
 $CO_2$  production in animals: analysis of potential errors in the doubly labelled water method.  
**American Journal of Physiology (Regulatory, Integrative and Comparative Physiology)**, 238, R466-R473.
- Ryde, S.J.S., Birks, J.L., Morgan, W.D., Evans, C.J., & Dutton, J. (1993).  
 A five-compartment model of body composition of healthy subjects assessed using *in vivo* neutron activation analysis.  
**European Journal of Clinical Nutrition**, 47, 863-874.
- Schoeller, D.A., van Santen, E., Peterson, D., Dietz, W., Jaspán, J., & Klein, R.D. (1980).  
 Total body water measurements in humans with  $^{18}O$  and  $^2H$  labelled water.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, 33, 2686-2693.
- Schoeller, D.A., Kushner, R.F., Taylor, R., Dietz, W.H., & Bandini, L. (1985).  
 Measurement of total body water: isotope dilution techniques.  
 In **Report of 6th Ross Conference on medical research: body composition assessments in youth and adults** (pp. 24-29).  
 Columbus, OH: Ross Laboratories.
- Schoeller, D.A., & Jones, P.J.H. (1987).  
 Measurement of total body water by isotope dilution: a unified approach to calculations.  
 In K.J. Ellis, S. Yasumura & W.D. Morgan (Eds.), **In vivo body composition studies** (pp. 131-137).  
 London: Institute of Physical Sciences in Medicine.
- Shohl, A.T. (1939).  
**Mineral metabolism** (pp. 13-21)  
 New York: Reinhold Publishing Corporation.
- Siri, W.E. (1956).  
 The gross composition of the body.  
 In J.H. Lawrence & C.A. Tobias (Eds.), **Advances in biological and medical physics**

- (pp. 239-280). New York: Academic Press Inc.
- Siri, W.E. (1961).  
Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods.  
In J. Brozek & A. Henschel (Eds.), **Techniques for measuring body composition** (pp. 223-244).  
Washington DC: National Academy of Sciences - National Research Council.
- Snyder, W.S. (Chairman.) (1975).  
**Report of the Task Group on Reference Man.**  
New York: Pergamon Press.
- Weast, R.C. (Ed.). (1975).  
**Handbook of chemistry and physics.**  
Cleveland: CRC Press.
- Whyte, R.K., Bayley, H.S., & Schwarcz, H.P (1985).  
The measurement of whole body water by H<sup>2</sup><sup>18</sup>O dilution in newborn pigs.  
**American Journal of Clinical Nutrition, 41**, 801-809.
- Widdowson, E.M., McCance, R.A., & Spray, C.M. (1951).  
The chemical composition of the human body.  
**Clinical Science, 10**, 113-125.
- Withers, R.T, & Hamdorf, PA. (1989).  
Effect of immersion on lung capacities and volumes: implications for the densitometric estimation of relative body fat.  
**Journal of Sports Sciences, 7**, 21-30.
- Withers, R.T, Smith, D.A., Chatterton, B.E., Schultz, C.G., & Gaffney, R.D. (1992).  
A comparison of four methods of estimating the body composition of male endurance athletes.  
**European Journal of Clinical Nutrition, 46**, 773-784.
- Womersley, J., Durnin, J.V.G.A., Boddy, K., & Mahaffy, M. (1976).  
Influence of muscular development, obesity, and age on the fat-free mass of adults.  
**Journal of Applied Physiology, 41**, 223-229.
- Wong, W.W, Cochran, W.J., Klish, W.J., Smith, E.O., Lee, L.S., & Klein, PD. (1988).  
In vivo isotope-fractionation factors and the measurement of deuterium- and oxygen- 18- dilution spaces from plasma, urine, saliva, respiratory water vapor, and carbon dioxide.  
**American Journal of Clinical Nutrition, 47**, 1-6.
- 
-

## CAPÍTULO 9



# LA PSICOLOGÍA Y LA ANTROPOMETRÍA DE LA IMAGEN CORPORAL

*Sbelley Kay*

---

### 1. QUE ES LA IMAGEN CORPORAL?

La «imagen corporal» es una construcción multidimensional que describe ampliamente las representaciones internas, subjetivas (de la apariencia física y experiencia corporal (Cash Pruzinsky, 1990)). La imagen corporal incluye elementos perceptivos, cognitivos, y afectivos de cómo representamos internamente nuestros propios cuerpos y los cuerpos de los demás. Perceptivo se refiere aquí a juicios óculo-espaciales y otros juicios sensoriales. «Cognitivo» se refiere a procesos y estilos de pensamiento, mientras que la dimensión «afectiva» se refiere a emociones y actitudes. Estas representaciones son quizás principalmente visuales, pero incluyen influencias de construcciones cinestésicas, táctiles, y otras construcciones sensoriales. En cualquier momento, las personas podrían estar simultáneamente controlando aspectos tan diferentes de su cuerpo, tales como su aparente atractivo, posición en el espacio, seguridad en derredor, prominencia relativa en el campo perceptivo total, variaciones en los atributos de tamaño (de sus diferentes partes, etc. (Fisher, 1990)).

Por lo tanto, el análisis de la imagen corporal incluye la comparación de dos series de construcciones mentales: las representaciones mentales de nuestros propios cuerpos y de los cuerpos de los demás. La antropometría aporta una herramienta para cuantificar objetivamente nuestro propio tamaño corporal, forma y composición, y el tamaño, forma, y composición del cuerpo de los otros.

La Figura 1 muestra la interacción de los factores relacionados con la imagen corporal. Nuestros propios cuerpos («auto») tienen tanto una representación antropométrica objetiva (una serie de mediciones de pliegues cutáneos, longitudes, perímetros, y diámetros), como una representación perceptiva, cognitiva, y afectiva. Esta representación mental está afectada por influencias tales como el sexo, los medios masivos de comunicación, y la herencia, y también por valores antropométricos objetivos y conocidos. De manera similar, los cuerpos de los otros (por «otros» queremos decir la población en general, y sub-poblaciones específicas tales como los modelos, los deportistas, los obesos, y otros grupos importantes para nuestro sentido corporal), tienen representaciones tanto objetivas como subjetivas. Una vez más, nuestras representaciones subjetivas de los cuerpos de los demás están afectadas por el sexo, los medios masivos, y la herencia, así como por nuestro conocimiento (de sus tamaños y formas reales. Nosotros comparamos las representaciones que tenemos de nuestros propios cuerpos con las representaciones de los cuerpos de los otros. La congruencia o incongruencia de estas representaciones está juzgada en relación a distintas posiciones dinámicas, y desencadenan comportamientos personales e interpersonales (ejercicio, dieta, sexo, etc.). La forma en que comparamos las representaciones y la naturaleza de las posiciones de opinión también están afectadas por factores relacionados con el sexo y las experiencias culturales.

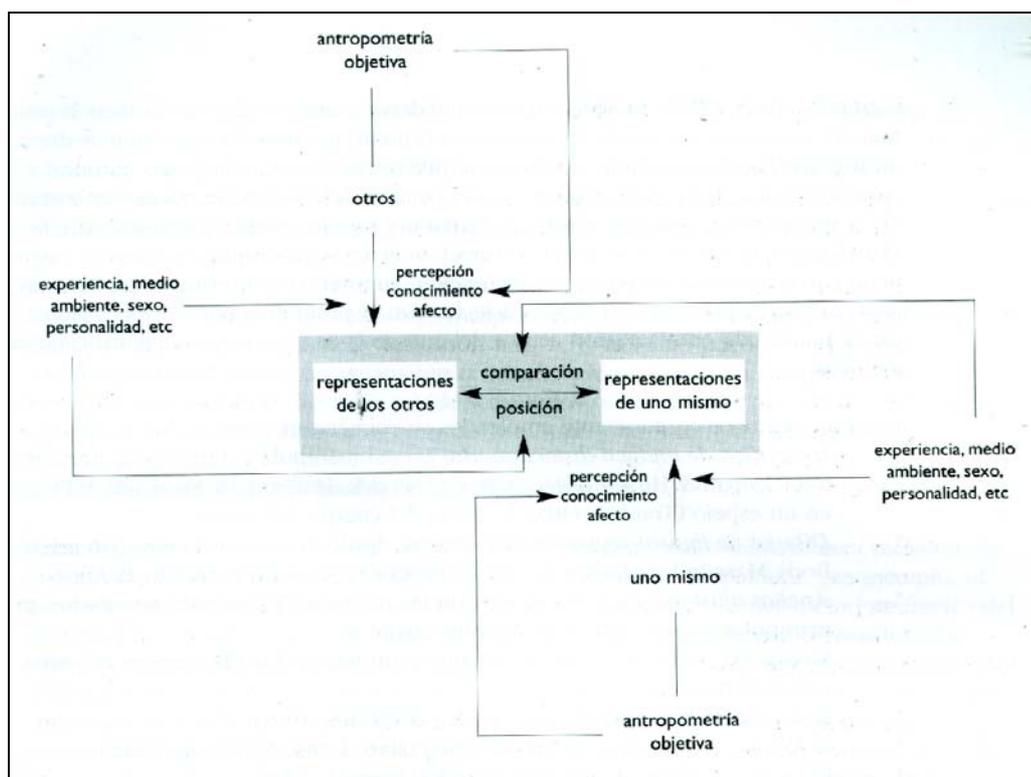


FIGURA 1. La interacción de factores relacionados con la imagen corporal. Para la explicación leer el texto.

## 2. CONSIDERACIONES METODOLOGICAS

- Las áreas centrales de interés en la investigación sobre la imagen corporal son:
- la descripción y cuantificación de las representaciones internas que tenemos de nosotros mismos, y de los demás;
- la naturaleza de la relación entre la representación mental de uno mismo, y la representación mental de los demás, y
- la relación entre las construcciones mentales de uno mismo y de los demás, y las realidades objetivas.

Para responder estas preguntas, necesitamos emplear algunos medios representativos que externalicen los modelos internos de los cuerpos de uno mismo, y de los otros.

### 2.1 Métodos de evaluación de la imagen corporal

Los instrumentos diseñados para evaluar la imagen corporal caen en dos clases amplias. Un grupo de instrumentos está involucrado con la estimación del tamaño (dimensión perceptual). Estos instrumentos normalmente son óculo-espaciales o visco-espaciales. El otro grupo de instrumentos busca las evaluaciones subjetivas de actitudes y conocimientos (dimensiones cognitiva y afectiva). Por lo general, son cuestionarios. Las dimensiones perceptual y

cognitiva-afectiva de la imagen corporal pueden ser independientes. Si bien la estimación del tamaño corporal es la faceta de la imagen corporal que tiene la relación más directa con la antropometría, es importante distinguir la preocupación sobre la forma corporal y la satisfacción corporal a partir de la estimación del tamaño del cuerpo. Se puede ser bastante preciso en la propia percepción del tamaño y forma del propio cuerpo, y aún así no estar satisfecho. Por ejemplo, el grado en el cual hombres y mujeres sobreestiman su tamaño corporal no tiene correlación con su nivel de *satisfacción* corporal (Dolan, Britchnell, & Lacey, 1987). De igual modo, es posible estar muy satisfecho con el propio tamaño y forma, y aún así mostrar un alto grado de preocupación acerca del cuerpo (por ej., Comportamiento centrado en el cuerpo).

Entre los métodos comúnmente empleados se encuentran:

- *La técnica de imagen distorsionada*, la cual manipula el tamaño de una fotografía (Glucksman & Hirsch, 1969), video (Alleback, Hallberg, & Espmark, 1976), o imagen en un espejo (Traub & Orbach, 1964) del cuerpo del sujeto;
- *Dibujos de figuras* representando físicos, desde magros a obesos, con referencia al Body Mass

Index (Índice de Masa Corporal) (Stunkard & Stellar, 1990);

- *Anchos ajustables* que coincidan con los diámetros corporales percibidos, por ejemplo manipulando los calibres deslizantes (Slade & Russel, 1973), o cambiando el ancho de un haz de luz (Thompson & Spana, 1990); y cuestionarios tales como,
- la *Escala de Estima Corporal* (Franzoi & Shields, 1984);
- la *Escala de Ansiedad Social del Físico* (Hart, Leary, & Rejeski, 1989);
- la *Escala de Catesis Corporal* (Secord & Jourard, 1953);
- el *Cuestionario de Insatisfacción Corporal* (Garner & Garfinkel, 1979), y;
- el *Cuestionario de la Forma Corporal* (Cooper, Taylor, Cooper, & Fairburn, 1987).

Debido a que no tenemos acceso directo a los modelos mentales que las personas tienen de sus propios cuerpos (Son principalmente visuales?; Bidimensionales? Tridimensionales?), es difícil elegir el mejor medio representativo que permita que ese modelo mental se traduzca a una forma externa, y sea comparable con mediciones antropométricas. Las relaciones entre las dimensiones corporales reales y la imagen corporal varían de acuerdo al instrumento psicométrico utilizado para evaluar la insatisfacción, y los diferentes índices antropométricos usados para representar el peso o la adiposidad (Davis, Durnin, Dionne, & Guerevich, 1994). Para que la imagen corporal sea analizada de forma significativa, es fundamentalmente crítica la elección y estructura del medio representativo.

## 2.2 Minimizando la influencia del medio

Idealmente, el medio debería ser transparente» en el sentido que el medio en sí no influya en cuán precisamente uno representa la propia imagen corporal (es decir, cuán exactamente uno traduce la propia serie de construcciones mentales a una forma externa). Los primeros estudios observaron que las personas anoréxicas sobreestimaban su tamaño corporal, lo cual era interpretado como una variable de distorsión de la imagen corporal (Slade & Russel, 1973). Sin embargo, estas observaciones podrían de igual manera ser interpretadas como un problema de percepción, es decir que las personas pueden, a menudo, estimar erróneamente el tamaño de los objetos en general, incluyendo objetos inanimados. Cuando estos mismos tests fueron administrados a mujeres normales. fue evidente que tanto las mujeres

con patologías alimentarias como aquellas que no las padecían, juzgaban equívocamente su tamaño corporal (Thompson, 1986). Una comparación de la estimación del tamaño de uno mismo, de otra persona, de cajas de comida y de un cilindro, respaldó fuertemente la idea que esta técnica puede representar los errores generales en la estimación perceptiva, más que reflejar la distorsión de la imagen corporal (Hundleby & Bourgouin, 1993).

La evaluación de la distorsión de la imagen corporal a través de redibujar imágenes en la pantalla de la computadora también es incapaz de discriminar entre grupos con desórdenes alimenticios grupos normales (Gustavson y coxis 1990). Esto puede deberse al hecho de que ningún grupo estima erróneamente el tamaño y la forma de sus cuerpos (o que ambos lo hacen de igual manera). También puede ser que los sujetos tengan dificultades en estimar su cuerpo en una pantalla pequeña (Probst, Van Coppenolle, Vandereycken, & Goris, 1992).

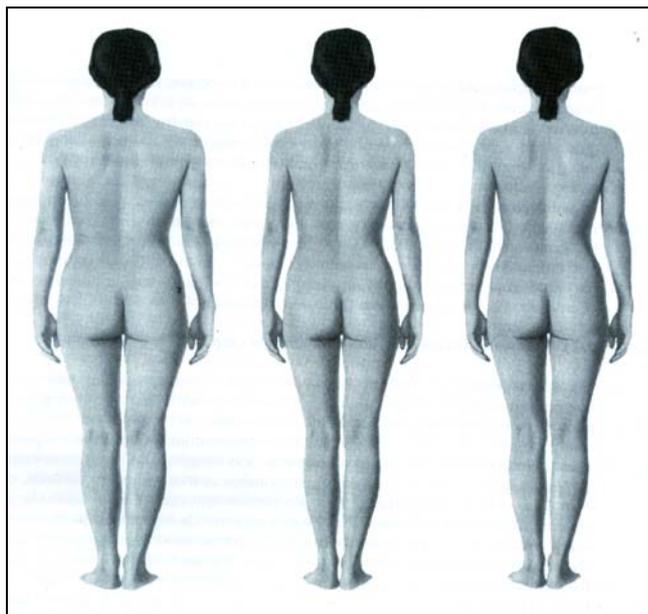
## 2.3 Las dimensiones estructurales de la imagen corporal

El medio representativo debe ser capaz de reflejar las principales dimensiones estructurales que utilizamos en la construcción de la imagen corporal. Es inútil utilizar, por ejemplo, el perímetro del antebrazo como una dimensión analítica si (como es posible) el perímetro del antebrazo no es un factor en la forma en que construimos las imágenes corporales. Por ejemplo, muchos instrumentos psicométricos son incapaces de discriminar entre adiposidad corporal total y formas. Las variables antropométricas relativamente generales, como el peso corporal o el Body Mass Index (BMI) sólo pueden aproximar la proporción de grasas, y pueden oscurecer la influencia de referentes anatómicos específicos, partes corporales regionales, tamaño del cuerpo, y distribución de las grasas, sobre la imagen corporal (Bailey, Golberg, Swap, Chomitz, y Houser, 1990; Davis, Durnin, Guerevich, LeMaire, & Dionne, 1993). Se ha mostrado que los cocientes entre perímetros o diámetros (Furner, Hester, & Weir, 1990), el somatotipo (Tucker, 1984), y la distribución regional de las grasas (Raclke-Sharp, Whitney-Saltiel, & Rodin, 1990), son dimensiones importantes de nuestra imagen corporal.

## 2.4 Sensibilidad: diferencias apenas notables

La sensibilidad de las representaciones externas debe coincidir con la resolución perceptiva. Si las diferencias entre las dos representaciones son imperceptibles, o si las dos representaciones no pueden ser distinguidas en forma reproducible, entonces las representaciones no serán efectivas para discriminar entre las construcciones mentales. Alley (1991) observó que

los estudiantes universitarios no podían, en forma confiable, distinguir entre fotografías de mujeres antes y después de perder un promedio de peso de 4.7 % con respecto a su peso inicial. Los estudios en nuestro laboratorio han mostrado que la mayoría de las personas pueden distinguir confiablemente entre dos figuras que difieren en el BMI, en casi un 5 %. Cuando la diferencia es  $< 2.5$  %, el éxito en la diferenciación no es mejor que una elección al azar (ver Figura 2). Por esta razón, es importante determinar las diferencias apenas notables del medio representativo que está siendo utilizado.



**FIGURA 2.** Tres figuras dibujadas por computadora que corresponden a valores de BMI estimados de 30, 26, 25. Puede Ud. distinguir las figuras que corresponden a los BMI de 26 y 25? La respuesta aparece al final del capítulo.

## 2.5 Confiabilidad test-retest

Como con todos los mecanismos perceptivos-cognitivos, la imagen y la satisfacción corporal tienen tanto componentes estables como dinámicos. Existe considerable evidencia que indica que las actitudes corporales son lábiles, y pueden operar en una forma contextual con variabilidad entre situaciones cruzadas (Roth & Armstrong, 1993). Se ha reportado que la satisfacción e insatisfacción fluctúan a través de situaciones tales como estar vestido, desvestido (Markee, Carey, & Pedersen, 1990), o parcialmente vestido (Haimovitz, Lansky, y O'Reilly, 1992), en la presencia o ausencia de «feedback» o respuesta en el espejo (Gardner, Gallegos, Martinez, & Espinoza, 1989), durante la fase pre-menstrual (Altabe & Thompson, 1990), y después de ingerir alimentos considerados como «que engordan» (Thompson, Coovert, Pasman, & Robh, 1993). Estos son factores que deberían ser controlados por una rigurosa

evaluación de la confiabilidad test-retest. La confiabilidad test-retest varía de acuerdo al instrumento utilizado, así como con los contextos de situación y las poblaciones de sujetos. Las herramientas estadísticas adecuadas incluyen el coeficiente de correlación intraclase, la diferencia absoluta de la mediana, y el rango intercuartilo correspondiente.

## 2.6 Imagen corporal y mediciones antropométricas

La selección de variables antropométricas debe reflejar las dimensiones corporales que son importantes para determinar la imagen corporal. Por ejemplo, sería inútil utilizar el perímetro de antebrazo como dimensión analítica cuando se usan dibujos lineales, si es imposible representar claramente perímetros diferenciables de antebrazo en esos dibujos, o si el perímetro real del antebrazo no puede ser relacionado en forma válida con una figura bi-dimensional. Típicamente, cuando se utilizan dibujos o fotos de figuras humanas, las diferencias entre estas figuras han sido cuantificadas en términos de BMI (Craig & Caterson, 1990), somatotipos, peso, o cocientes entre perímetros (Furner y cols., 1990). Sin embargo, raramente existe una clara razón que explique cómo se determinaron ciertos BMI, somatotipos, pesos, o cocientes entre perímetros, para estas figuras. Los dibujos lineales bi-dimensionales son incapaces de representar la forma general del individuo, la distribución de las masas grasas subcutáneas, y otros aspectos de la composición corporal que pueden ser importantes en la formación de, la imagen corporal.

## 2.7 Precisión antropométrica

Otro problema es que muchos estudios han utilizado antropometristas inexpertos, o han confiado en datos auto-reportados sobre el peso y la altura (Gupta, Schork, & Dhaliwal, 1993). Muchos estudios han mostrado que las alturas y los pesos auto-reportados son inexactos. En un estudio, el 34 % de los hombres y el 30 % de las mujeres, fueron incapaces de reportar su peso real con una precisión de 2.3 kg. Los hombres que dieron informes erróneos tendieron a sobreestimar su peso, mientras que las mujeres tendieron a subestimarlo (Cash, Grant, Shovlin, & Lewis, 1992). Un análisis de avisos publicitarios personales en una revista Norteamericana reveló un alto grado de descripciones de forma y peso estereotipadas y artificiales tanto para hombres como mujeres que buscaban compañía (Anderson, Woodward, Spalder, & Koss, 1993). Sólo el 13 % de mujeres blancas, entre las edades de 34 y 44 años, podían coincidir con los

valores medios de BMI, presentados como auto-descripciones en estos comerciales. En estos avisos, el 97 % de las mujeres y el 100 % de los hombres se describen a sí mismos más delgados que el promedio. Sin embargo, la aplicación de una antropometría más precisa a esta área de investigación tiene el potencial de remarcar las relaciones con mayor claridad.

### 3. ESTUDIOS DE LA IMAGEN CORPORAL

Se sabe que distintos factores externos influyen en los modelos que tenemos de nuestros propios cuerpos, y de los cuerpos de los demás. Estos factores incluyen la edad, el sexo, la influencia de los medios masivos de comunicación, e influencias educativas y genéticas.

#### 3.1 La influencia del sexo sobre la imagen corporal

##### 3.1.1 La imagen corporal en las mujeres

La insatisfacción con la forma y el tamaño corporal se ha vuelto tan endémica en la población femenina que ha sido descrita como «descontento normativo» (Rodia, Silberstein, & Striegel-Moore, 1984). Un gran porcentaje de mujeres que tienen un peso normal, o un bajo peso, están insatisfechas con su tamaño corporal (Cash, Winstead, & Janda, 1986). Para modificar la apariencia externa, a menudo utilizan la vestimenta, ropa interior, ejercicio y dietas, y cirugía estética. En 1992, se llevaron a cabo en E.E.U.U. 350.000 cirugías estéticas, de las cuales el 87 % fueron en mujeres. Más de 150.000 australianos se han sometido a Tipo-aspiraciones desde 1983, de las cuales el 95 % se realizaron en mujeres («Datos sobre la lipo-aspiración», revista «She», 1994). Las mujeres, por lo general, prefieren una forma decididamente ectomórfica. Las áreas específicas que les preocupan a las mujeres son la cintura, los muslos, los glúteos, las piernas, y el abdomen, siendo los puntos de mayor preocupación la región de la cadera y glúteos. Un estudio con mujeres adolescentes reveló que la única característica más deseada son las caderas delgadas y angostas (Davis & Furnham, 1986). El único perímetro que disminuyó en el concurso de Miss América, desde 1959 hasta 1985, fue el de cadera (Wiseman, Gray, Mosimann, & Ahrens, 1992), a pesar del incremento en el tamaño total de la población en general. Los investigadores han encontrado mayor insatisfacción corporal en mujeres con la grasa distribuida en las caderas y glúteos que en las que tenían una distribución más abdominal (Radke-Sharpe y cols., 1990). Sin embargo, esta preocupación no es necesariamente proporcional a la

cantidad de grasa en estas áreas. Aún personas delgadas reportan insatisfacción con el perímetro de cadera (Bailey y cols., 1990). Estos estudios muestran que la insatisfacción corporal se centra en regiones específicas, y en la relación entre regiones específicas. Los cocientes entre perímetros, tales como la proporción tórax/cintura y cintura/ cadera pueden ser correlaciones antropométricas útiles de la insatisfacción.

Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados de una pequeña encuesta llevada a cabo en nuestro laboratorio. Se les pidió a un grupo de asistentes a un gimnasio y a estudiantes universitarios (n = 48) que calificaran su grado de satisfacción con las distintas regiones corporales, en una escala de 0 (completamente insatisfecho) hasta 10 (completamente satisfecho). Se utilizó una matriz factorial no rotada para determinar los pesos de las calificaciones individuales, y los promedios de los «scores» pesados fueron corregidos para abarcar un rango (de valores de 0 a 100. Para las mujeres, las áreas de mayor preocupación fueron los glúteos y la región abdominal, y también las caras anterior y posterior de los muslos y el tríceps. Para los varones, la región abdominal fue la principal zona de insatisfacción.

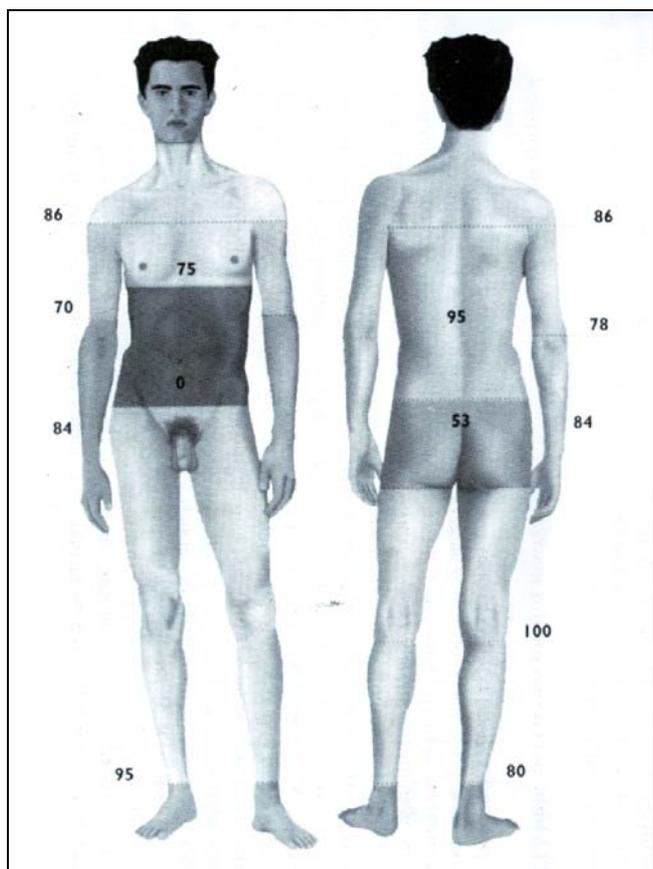
##### 3.1.2 La imagen corporal en los hombres

Si bien ha sido ampliamente reportado que la insatisfacción con el tamaño y forma del propio cuerpo es menos pronunciada en los hombres que en las mujeres, una gran encuesta observó que el 41 % de los hombres y el 53 % de las mujeres no estaban conformes con su peso (Cash y cols., 1986). Un estudio con hombres y mujeres físicamente activos también demostró una igual disconformidad entre hombres y mujeres con respecto a su peso. Mientras que la mayoría de las mujeres querían perder peso, los hombres estaban equitativamente divididos entre aquellos que querían disminuir, y aquellos que querían aumentar de peso (Davis & Cowles, 1991). De forma similar, un estudio con varones universitarios de 18 años reveló un porcentaje parejo entre los que querían disminuir y los que querían aumentar de peso (Drewnowski & Yee, 1987). Las dos direcciones opuestas podrían anularse entre sí, y llevar a la interpretación equivocada que los hombres no están disconformes. Por lo tanto, cuando se analizan estos datos, se deberían considerar las diferencias absolutas así como las diferencias direccionales entre las características ideales y reales.

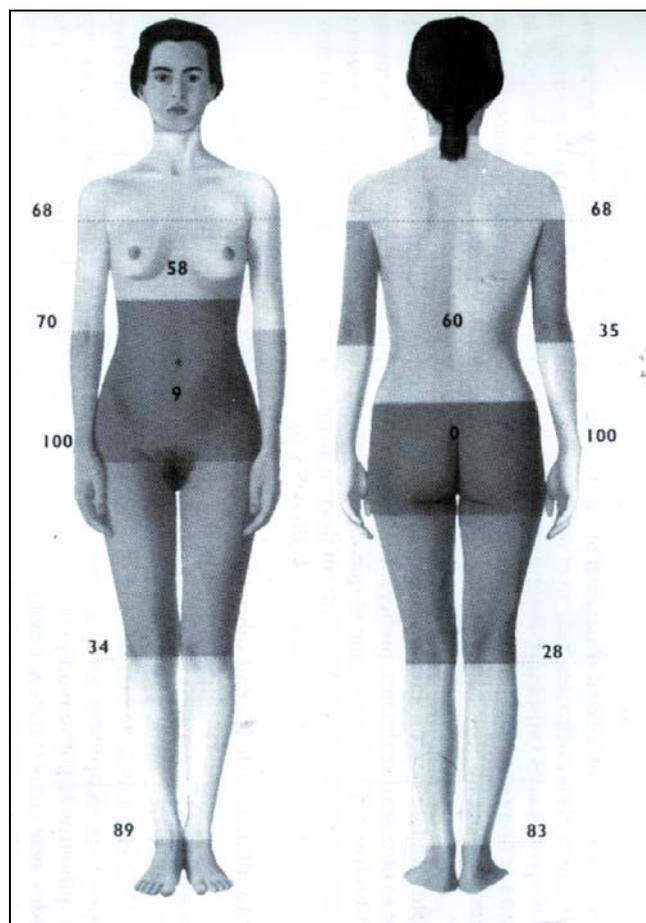
Una observación consistente es que los hombres desean un físico mesomórfico (Tucker, 1984). Los hombres están más preocupados con aumentar la masa muscular, mientras que las mujeres con disminuir la grasa. Los hombres están específicamente preocupados con la musculatura de la parte superior del cuerpo, con el ancho de hombros, brazos, y el tórax (Franzoi & Shields, 1984).

La subcultura homosexual masculina promueve un ideal magro y muscular, y en un estudio, los hombres homosexuales indicaron mayor disconformidad con el desarrollo corporal que los heterosexuales (Mishkind, Rodin, Silberstein, & Striegel-Moore, 1986). Por lo tanto, los hombres homosexuales pueden tener más riesgo de adquirir patologías alimentarias que sus pares heterosexuales (Striegel-Moore, Silberstein, & Rodin, 1986).

Existe bastante desconocimiento entre ambos sexos acerca de la clase de desarrollo corporal que el otro sexo realmente prefiere. Las mujeres creen que los hombres prefieren mujeres con un físico más delgado que el que en realidad ellos prefieren. Los hombres piensan que las mujeres prefieren hombres con un físico más musculoso que el que en realidad ellas prefieren (Fallon & Rozin, 1985; ver Figuras 5 y 6)



**Figura 3.** Satisfacción corporal regional en los hombres. Cuanto mas oscura la parte corporal, y mas baja la calificación, menos satisfechos están los sujetos con esta región corporal.



**Figura 4.** Satisfacción corporal regional en las mujeres. Cuanto mas oscura la parte corporal, y mas baja la calificación, menos satisfechos están los sujetos con esta región corporal.

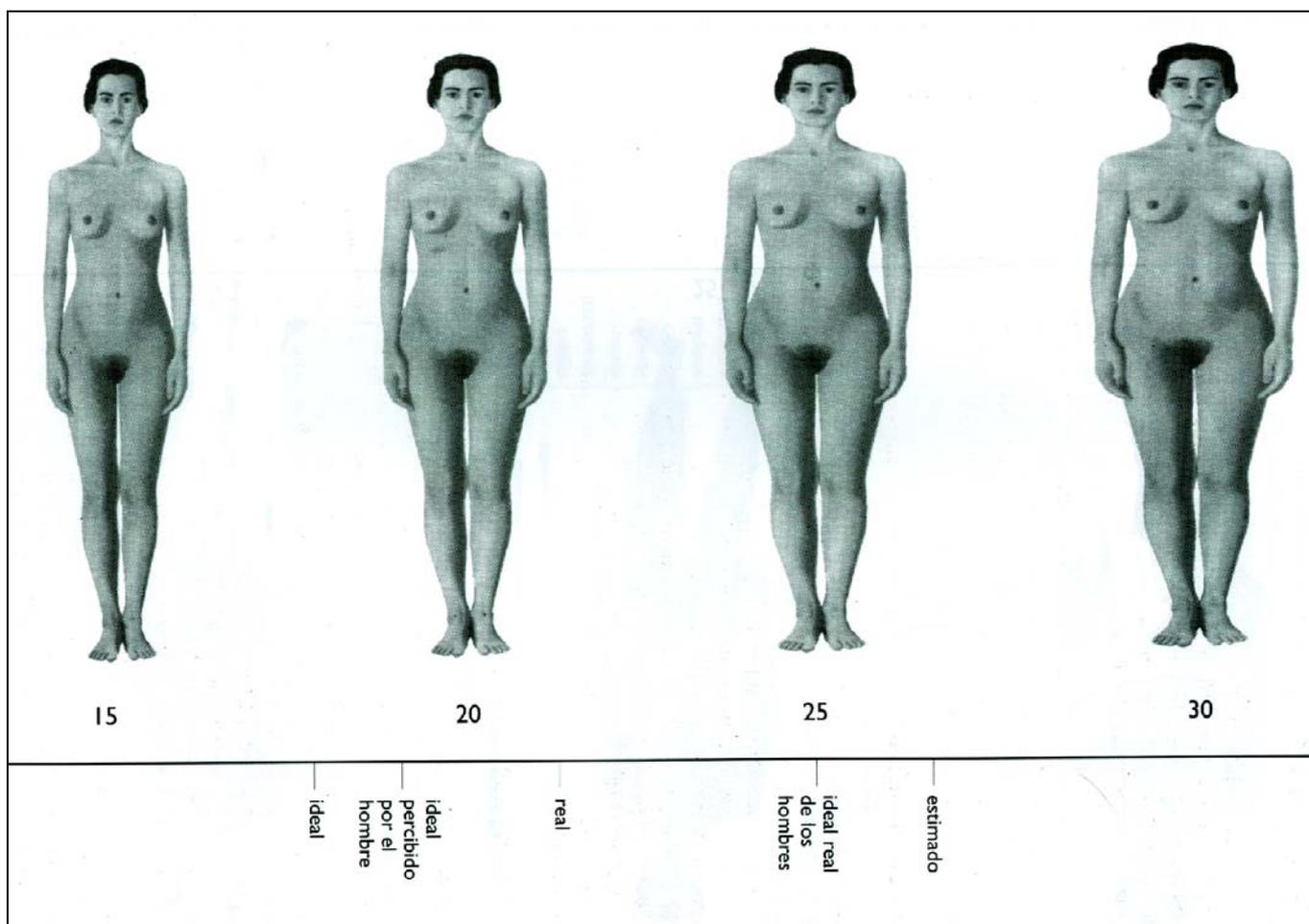
### 3.2 La influencia de la edad sobre la imagen corporal

Niñas de hasta cinco años de edad han expresado su temor por aumentar de peso (Feldman, Feldman, & Goodman, 1988). La preocupación por la apariencia hace su pico en la segunda mitad de la primera década de vida, y en la segunda década. Algunos estudios han observado que la preocupación por la apariencia disminuye con la edad (Cash y cols., 1986), mientras que otros han observado que el deseo por tener un físico delgado podría persistir hasta edades avanzadas (Davis & Cowles, 1991; Hallinan & Schuler, 1993). Un estudio con padres e hijos mostró poca diferencia entre las generaciones con respecto a la insatisfacción corporal, a pesar de persistir diferencias entre sexos (Rozin & Fallon, 1988). Gupta y Schork (1993) concluyeron que las mujeres (y en menor grado los hombres), que estaban preocupadas por los efectos del envejecimiento sobre la apariencia, también tendían a estar preocupadas por la disminución de peso.

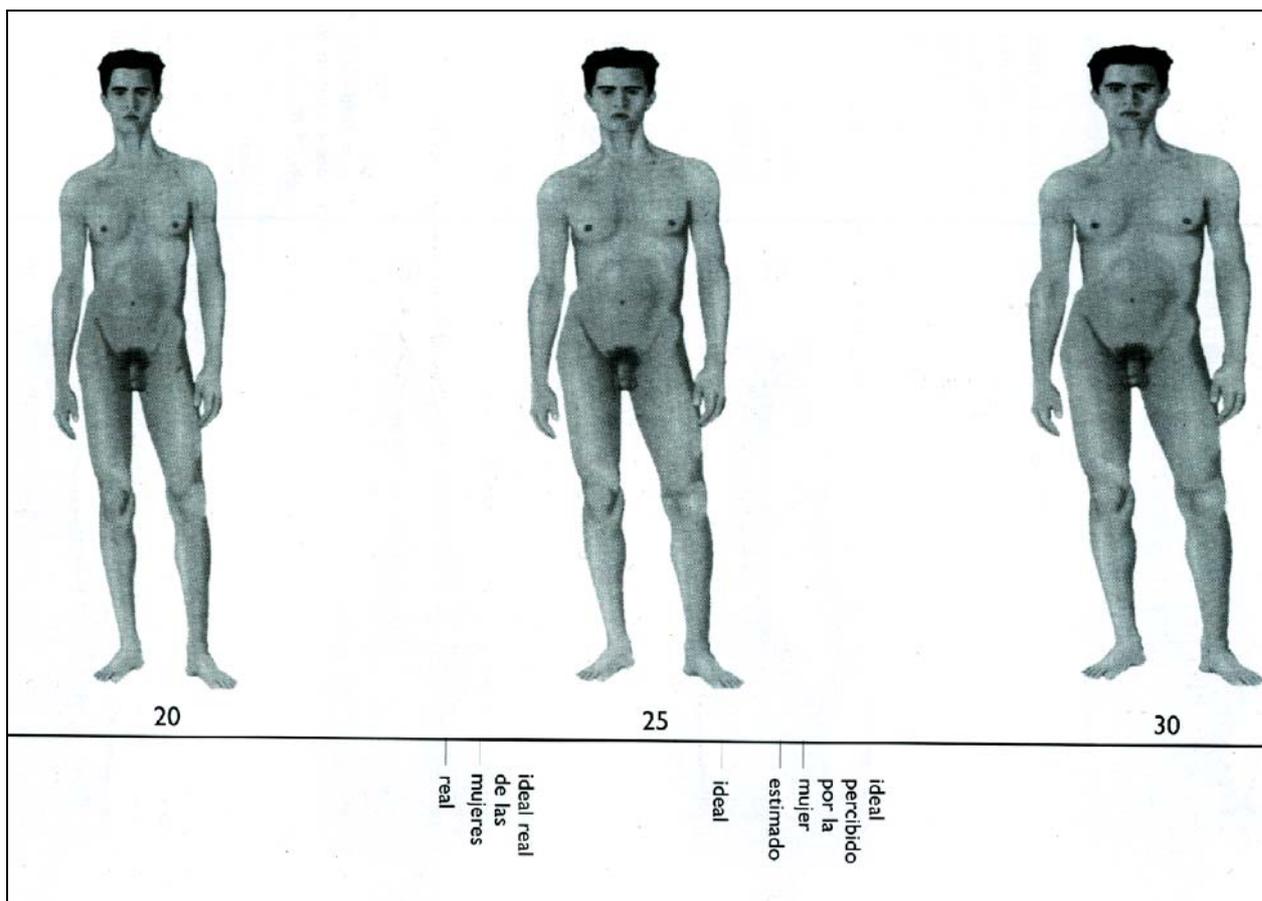
### 3.3 La influencia de los medios masivos de comunicación sobre la imagen corporal

Las percepciones de nuestro propio cuerpo son filtradas a través de distintas imágenes normativas, presentadas en los medios de comunicación. Estas imágenes corporales “públicas” y normativas definen ideales de belleza, de salud, y de “fitness”. Algunas imágenes prescriben ideales actuales de atractivo sexual. Otras prescriben formas y tamaños corporales óptimos para la salud, o describen al ser humano típico o “promedio”. A menudo, los índices objetivos de rangos normales o saludables son incapaces de influir en cómo las personas juzgan sus propios cuerpos. Las personas tienden a estar mucho más influenciadas por los valores de subgrupos extremos, tales como las modelos y los deportistas. Desde la infancia, los niños y las niñas están expuestos a representaciones de estereotipos corporales, a través de muchas influencias psico-sociales. Muñecas,

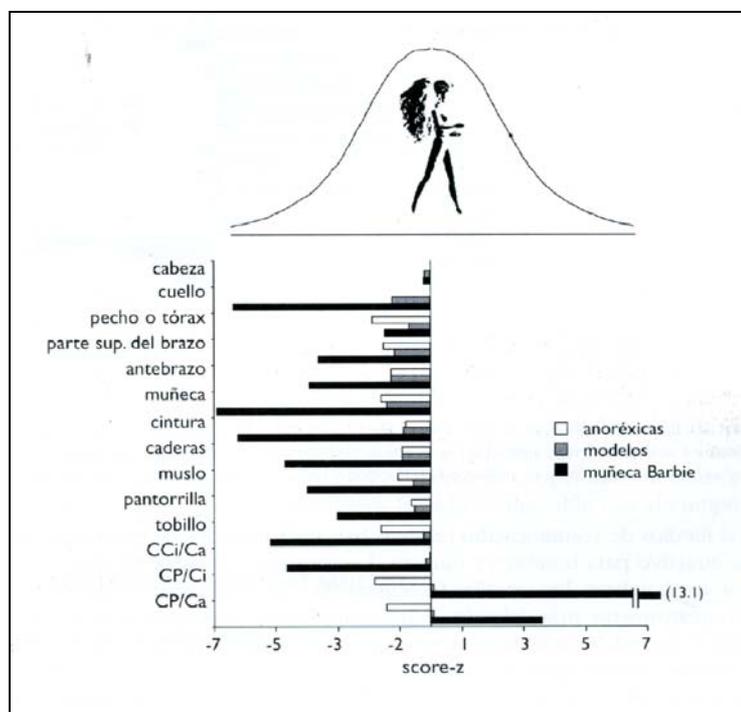
estrellas de cine, modelos, bailarinas, y héroes deportivos representan una asociación fascinante con tipos corporales particulares. Por ejemplo, la muñeca Barbie es considerada por muchos fabricantes como un “modelo a aspirar” para las niñas (Pedersen & Markee, 1991). Lograr las proporciones de la Barbie en escala, utilizando una similitud geométrica con el tamaño real”, sería biológicamente imposible. Las proporciones, tanto de Barbie como de Ken, se desvían dramáticamente de los grupos adultos de referencia, de la población general, de las modelos y de los anoréxicos, mostrando scores z, algunas veces, con exceso de 13 (Norton, Olds, Olive, & Dank, 1994; ver Figura 7). Los mismos autores calcularon que Ken (una “figura de acción”, no un muñeco !) representa un somatotipo ectomórfico, con la diferencia de que los desvíos de los grupos de referencia, de los de la población en general y de los futbolistas son menos sorprendentes, pero de cualquier manera, significativos (Figura 8).



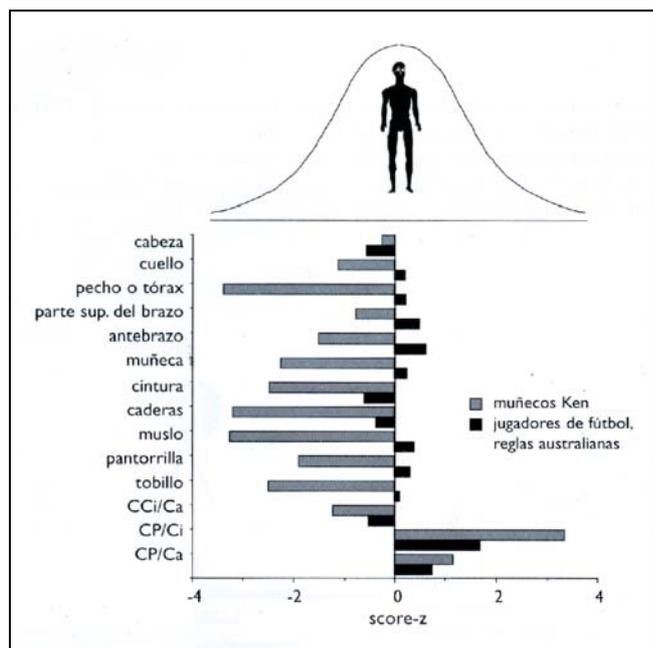
**FIGURA 5.** Tamaños corporales femeninos correspondientes al tamaño real de los sujetos («real»), al tamaño que ellas creen que tienen («estimado»), a su tamaño ideal («ideal»), al tamaño que ellas creen que los hombres deberían considerar ideal («ideal percibido por el hombre»), y al tamaño que los hombres realmente consideran ideal («ideal real de los hombres»). El tamaño corporal es cuantificado en unidades de BMI. Los datos han sido recolectados en nuestro laboratorio.



**Figura 6.** Tamaños corporales masculinos correspondientes al tamaño real de los sujetos («real»), al tamaño que ellos creen que tienen («estimado»), a su tamaño ideal («ideal»), al tamaño que ellos creen que las mujeres deberían considerar ideal («ideal percibido por la mujer»), y al tamaño que las mujeres realmente consideran ideal («ideal real de las mujeres»). El tamaño corporal es cuantificado en unidades de BMI. Los datos han sido recolectados en nuestro laboratorio.



**Figura 7.** «Scores z» relativos a los valores medios, en 135 mujeres del Sur de Australia entre 17 y 35 años, para distintas variables antropométricas ajustadas por la altura. Se muestran los «scores z» para un grupo de modelos, un grupo de anoréxicas, y para la muñeca Barbie (Norton y cols., 1994). CciCa = cociente cintura/cadera, CPCi = cociente pecho/cintura, y CPCa = cociente pecho/cadera).



**Figura 8.** «Scores z» relativos a los valores medios, en varones Australianos entre 18 y 29 años, para distintas variables antropométricas ajustadas por la altura. Se muestran los «scores z» para un grupo de 22 jugadores de Fútbol, reglas Australianas y para el muñeco Ken (Norton y cols., 1994). Ver Figura, para detalles.

Los medios de comunicación masivos han sido acusados de perpetuar diferentes “standards” de atractivo para hombres y mujeres. Las mujeres retratadas en televisión son más delgadas que los hombres. Las estrellas femeninas de cine y las modelos de revistas se han vuelto progresivamente más delgadas (Silverstein, Perdue, Peterson, & Kelly, 1986). Una investigación con modelos televisivos reveló que el 69 % de las mujeres (pero sólo el 18% de los hombres) fueron calificadas como delgadas/os (Silverstein y cols., 1986). Las mediciones antropométricas de “mannequins, desde 1920 hasta 1960, determinaron que en general se han vuelto más delgadas con el transcurso del tiempo y, dada la relación entre magreza extrema y disfunción menstrual, se sugirió que mujeres con la misma forma corporal poco probablemente podrían menstruar (Rintala & Mustajoki, 1992). Un cambio significativo hacia un ideal más delgado ha sido marcado a través de los cambios en el peso, perímetro de cadera, y cociente entre busto y cintura de las mujeres de páginas centrales de Playhoy y de las participantes en el concurso de Miss America (Garner, Garfinkel, Schwartz, & Thompson, 1980). Hacia 1988, este índice de la imagen corporal “ideal” para la mujer estaba del 13 a 19% por debajo del esperado, para la edad y la altura

(Wiserman y cols., 1992). Esto representa un rango de peso que fue incluido como uno de los criterios para el diagnóstico de la anorexia nerviosa, reconocidos por la Asociación Americana de Psiquiatría (15 % por debajo del peso estimado).

Distintos artículos en revistas, estudiados durante el mismo período como las Chicas del Mescle Playhoy (1959-1988), indicaron un aumento general en el énfasis en la reducción de peso. Se observó un aumento significativo en la proporción de dietas, ejercicio, y dietas + ejercicio, y desde 1981, el número de artículos sobre el ejercicio superó al de artículos sobre dietas. La dieta y el ejercicio están desproporcionadamente promovidos en las mujeres, como los medios para lograr un ideal que progresivamente se ha vuelto más delgado. La proporción de publicidades sobre alimentos dietéticos, en 48 ediciones de revistas femeninas y masculinas, fue de 63:1 (Silverstein y cols., 1986).

### 3.4 La influencia del deporte y la educación sobre la imagen corporal

Si bien los medios de comunicación son acusados de crear modelos irreales, el deporte y la educación también pueden ser acusados de lo mismo. Un análisis de textos educativos para niños, desde 1900 hasta 1980, confirma una tendencia significativa hacia mostrar niñas más delgadas cada vez, mientras que los niños no han experimentado cambios (Davis & Oswalt, 1992). Si bien la participación deportiva infantil es incentivada tanto por el desarrollo físico como psicológico, los deportistas y bailarines admirados por sus logros pueden, en realidad, presentar una relación distorsionada entre un cuerpo delgado y uno saludable. Los estudios han confirmado el alto riesgo de preocupación por el peso y las patologías alimentarias en deportes tales como saltos ornamentales, patinaje artístico, gimnasia, ballet (Garner & Rosen, 1991), y remo (Sykora, Grilo, Wilfley, & Brownell, 1993), deportes que resaltan la magreza para mejorar la performance o la apariencia. Las patologías alimentarias en los hombres son más comunes entre los luchadores y los jockeys de hipismo, que en deportes en los cuales no es necesario alcanzar un cierto peso corporal (Striegel-Moore, Silberstein, & Rodin, 1986). En otros deportes, lo fundamental es aumentar de peso, y este hecho también puede conducir a desórdenes alimentarios. Los físico-culturistas y los anoréxicos, por ejemplo, tienen calificaciones similares en el Inventario de Desórdenes Alimentarios (Pope, Katz, & Hudson, 1993), y el aumento en el abuso de esteroides anabólicos ha sido comparable con el comportamiento característico de personas anoréxicas.

## 4. IMAGEN CORPORAL Y COMPORTAMIENTO

### 4.1 Imagen corporal y autoestima

Desde edades tempranas, el atractivo físico está estrechamente relacionado con la autoestima (Kenealy, Gleeson, Frude, & Shaw, 1991). En particular, las mujeres pueden verse a sí mismas como 'socialmente definidas, en un alto grado, por cómo se ven. Las mujeres son más susceptibles que los hombres a igualar sus propios valores con su imagen corporal, y lo que ellas creen que otras personas piensan de cómo se ven (Fallon, 1990).

La personalidad y el carácter, en gran medida, están marcados por determinantes sociales o culturales de qué es lo que se considera físicamente deseable o indeseable (Lerner & Jovenovic, 1990). En la sociedad occidental, el endomorfismo parece estar casi universalmente devaluado. Spillman y Everington (1989) pidieron a 234 estudiantes universitarios, en su mayoría mujeres, que indicaran la relación entre ciertas características de comportamiento y distintos somatotipos femeninos. En general, se percibió que los endomorfos eran vistos como personas que se vestían en forma desaliñada, que estaban stressadas" y deprimidos, y que probablemente tenían un trabajo de poca categoría. Los mesomorfos fueron caracterizados como personas competentes, relajadas, profesionales, sanas, e intelectuales; mientras que los ectomorfos fueron considerados como los que estaban más preocupados por su apariencia, los más atractivos sexualmente, y los que probablemente hacían más ejercicio. La mayoría de los encuestados se clasificaban a sí mismos como mesomórficos, pero, a la pregunta de «qué les gustaría ser?», elegían el perfil ectomórfico.

### 4.2 Comportamientos alimentarios y deportivos

La insatisfacción corporal ha estado consistentemente relacionada con el grado de preocupación por el peso, por la dieta (Davis y cols., 1993), y por el comportamiento deportivo (Davis & Cowles, 1991), al menos en las mujeres. Las patologías alimentarias pueden ser vistas como un extremo de un proceso continuo de preocupaciones por el peso y la dieta (Davis, Fox, Cowles, Hastings, & Schawass, 1990). La disconformidad corporal motiva que los hombres y las mujeres hagan dieta y ejercicio, pero estos comportamientos pueden no modificar los factores anatómicos que influyen en el grado de descontento con la región o forma corporal. Por ejemplo, se ha mostrado que los diámetros óseos, que no cambian dramáticamente con las intervenciones deportivas, están asociados con la insatisfacción. Davis y cols. (1994) observaron que el tamaño de la estructura

esquelética (basada en diámetros óseos), independientemente de la adiposidad, fue un predictor significativo de la insatisfacción corporal en mujeres jóvenes. Más específicamente, el diámetro iliocrestídeo fue una variable antropométrica importante para predecir la disconformidad corporal total. Para reforzar esta idea, existen datos que indican que los hombres deciden sobre el atractivo sexual femenino basados más en las medidas de los glúteos y cadera que de los pechos (Mazur, 1986; Davis y cols., 1993; Davies & Furnham, 1986).

El hacer dietas es un fenómeno más común entre las niñas que entre los niños. De un grupo de adolescentes australianos encuestados, una significativa proporción de mujeres (69 %) y varones (27 %) había intentado disminuir de peso (Tienhoon, Rutishauser, & Wahlqvist, 1994). Niñas y niños en el rango normal del BMI deseaban disminuir un promedio de peso de 6.6 y 2.0 kg, respectivamente. Esta diferencia en el peso corporal deseable indica que las niñas quieren hacer más dieta que los varones.

El mismo grado de disconformidad corporal puede conducir a distintos comportamientos en los hombres y las mujeres. Las mujeres son mucho más susceptibles de embarcarse en programas de ejercicio o intervenciones dietarias que los hombres (Rozin & Fallon, 1988; Silherstein, Striegel-Morre, Timko & Rodin, 1988). Aunque se reportó que las mujeres son más predispuestas que los hombres para hacer ejercicio para disminuir de peso (Davis y Cowles, 1991), el tipo de intervención elegida puede ser específico del sexo. Los hombres más probablemente elegirán el ejercicio para perder peso, mientras que las mujeres elegirán dietas hipocalóricas (Drewnowski & Yee, 1987).

No está claro si el ejercicio aumenta o disminuye la disconformidad con el cuerpo. La diferencia entre la forma corporal actual percibida vs. la forma corporal ideal, fue mayor en mujeres de edad que realizaban ejercicio que en aquellas que no realizaban ejercicio (Hallinan & Schuler, 1993). La insatisfacción con uno mismo, en relación a un ideal, parece motivar un comportamiento deportivo, pero el ejercicio podría hacer poco para mejorar la satisfacción con el cuerpo. Esto también es evidente en mujeres más jóvenes. Se reportó que las personas que realizan ejercicio, con gran frecuencia están más disconformes con su forma corporal que las personas que lo hacen con una frecuencia moderada, o aquellas que no realizan ejercicios, aún a pesar de que pesaban menos y que habían disminuido más de peso que los otros grupos (Imm & Pniitt, 1991). Parecería que tener un objetivo inalcanzable podría ser la razón para realizar ejercicio con frecuencia. Quizás las mujeres que hacen ejercicio siguen imponiéndose nuevos standards" a sí mismas. Otra propuesta es que el énfasis en el ejercicio podría

alimentar una exagerada inversión narcisista en el cuerpo (Davis y cols., 1990). Quizás, las falsas expectativas sobre la magnitud de los efectos que el ejercicio puede tener sobre la forma, el tamaño y la composición corporal, sirven para desalentar siempre a aquéllos que realizan ejercicio con la esperanza de cambiar su cuerpo hacia un ideal perseguido. Tal como se sugirió previamente, los individuos que ingresan a ambientes deportivos podrían estar expuestos a los nuevos "standards" de las ideas de un grupo específico sobre un tipo de cuerpo admirado.

## 5. DIRECCIONES FUTURAS: INVESTIGACION SOBRE IMAGEN CORPORAL Y ANTROPOMETRIA

Los trabajos anteriores se han centrado en mediciones corporales globales. Los métodos futuros deben utilizar variables más sensibles y específicas de las dimensiones corporales. La antropometría de superficie, por supuesto, sería una herramienta importante en estos análisis. Para ayudar a recrear las formas corporales en un espacio tridimensional (3D), las simulaciones por computadora serán invaluable. La capacidad de obtener un perfil antropométrico amplio, y tener una computadora que produzca este cuerpo en 3D, permitirá que los sujetos se relacionen con una representación más realista de la forma corporal. Identificar las regiones corporales específicas, e interpretar las dimensiones reales a partir de estas figuras, debe seguramente mejorar la resolución, en comparación con los métodos actuales relativamente poco sofisticados.

De particular importancia es la identificación de ideas específicas que las personas utilizan para formar sus imágenes corporales. Qué regiones corporales, y qué aspectos de estas regiones son los focos dominantes de nuestra preocupación? Cuánto se debe cambiar en estas áreas antes de que percibamos la diferencia, y se altere significativamente nuestra imagen corporal?

Finalmente, si bien se han llevado a cabo varios estudios transversales comparando poblaciones activas y no activas, ha habido muy pocos estudios longitudinales sobre el efecto del ejercicio, las intervenciones alimentarias, y los cambios en la composición corporal sobre la imagen corporal. Los datos longitudinales serían importantes para establecer si las incongruencias en la imagen corporal preceden a la práctica del ejercicio en forma regular, y si las mismas se exacerban o se reducen con el ejercicio.

**Respuesta sobre la Figura 2:** «La figura de la derecha corresponde a un BMI de 26, y la figura del medio a un BMI de 25».

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alleback, P., Hallberg, D., & Espmark, S. (1976). Body image — an apparatus for measuring disturbances in estimation of size and shape. **Journal of Psychosomatic Research**, **20**, 583-589.
- Alley, T. (1991). Visual detection of body weight change in young women. **Perceptual and Motor Skills**, **73**, 904-906.
- Altabe, M., & Thompson, J.K. (1990). Menstrual cycle, body image and eating disturbance. In T. Cash & T. Pruzinsky (Eds.), **Body images** (pp. 21-48). New York: Guilford Press.
- American Psychiatric Association (1987). **Diagnostic and statistical manual of mental disorders** (3rd ed.). Washington DC.
- Anderson, A., Woodward, P., Spalder, A., & Koss, M. (1993). Body size and shape characteristics of personal "In Search Of" ads. **International journal of Eating Disorders**, **14**, 111-116.
- Bailey, S.M., Goldberg, J.P., Swap, W.C., Chomitz, V.R., & Houses, R.F. (1990). Relationships between body dissatisfaction and physical measurements. **International Journal of Eating disorders**, **9**, 457-461.
- Cash, T. & Pruzinsky, T. (Eds.) (1990). **Body images**. New York: Guilford Press.
- Cash, T.F., Grant, J.R., Shovlin, J.M., & Lewis, R.J. (1992). Are inaccuracies in self-reported weight motivated distortions? **Perceptual and Motor Skills**, **74**, 209-210.
- Cash T., Winstead, B., & Janda, L. (1986, April). The great American shape-up. **Psychology Today**, 30-37.

- Cooper, P.J., Taylor M.J., Cooper, Z. & Faisburn, C.G. (1987).  
The development and validation of the Body Shape Questionnaire.  
**International Journal of Eating Disorders**, **6**, 485-494.
- Craig, P., & Caterson, I.D. (1990).  
Weight and perceptions of body image in women and men in a Sydney sample.  
**Community Health Studies**, **14**, 373-383.
- Davies, E. & Furnham, A. (1986).  
Body satisfaction in adolescent girls.  
**British Journal of Medical Psychology**, **59**, 279-287.
- Davis, C., & Cowles, M. (1991).  
Body image and exercise: a study of relationships and comparisons between physically active men and women.  
**Sex Roles**, **25**, 33-44.
- Davis, C., Durnin, J.V.G.A, Dionne, M., & Gurevich, M. (1994).  
The influence of body fat content and bone diameter measurements on body dissatisfaction in adult women.  
**International Journal of Eating Disorders**, **15**, 257-263.
- Davis, C., Durnin, J.V.G.A., Gurevich, M., Le Maire, A., & Dionne, M. (1993).  
Body composition correlates of weight dissatisfaction and dietary restraint in young women.  
**Appetite**, **20**, 197-207.
- Davis, C., Fox, J., Cowles, M., Hastings, P, & Schwass, K. (1990).  
The functional role of exercise in the development of weight and diet concerns.  
**Journal of Psychosomatic Research**, **34**, 563-574.
- Davis, J., & Oswalt, R. (1992).  
Societal influences on a thinner body size in children.  
**Perceptual and Motor Skills**, **74**, 697-698.
- Dolan, B., Birtchnell, S., & Lacey, J. (1987).  
Body image distortion in non-eating disordered women and men.  
**Journal of Psychosomatic Research**, **31**, 513-520.
- Drewnowski, A., & Yee, D. (1987).  
Men and body image: are males satisfied with their body weight?  
**Psychosomatic Medicine**, **49**, 626-634.
- Fallon, A. (1990).  
Culture in the mirror: sociocultural determinants of body image.  
In T Cash & T. Pruzinsky (Eds.), **Body images** (pp. 80-109). New York: Guilford Press.
- Fallon, A.E., & Rozin, P (1985).  
Sex differences in perceptions of desirable body shape.  
**Journal of Abnormal Psychology**, **94**, 102-105.
- Feldman, W, Feldman, E., & Goodman, J.T (1988).  
Culture versus biology: children's attitudes toward thinness and fatness.  
**Pediatrics**, **81**, 190-194.
- Fisher, S. (1990).  
The evolution of psychological concepts about the body.  
In T Cash & T. Pruzinsky (Eds.), **Body images** (pp. 3-20). New York: Guilford Press.
- Franzoi, S., & Shields, S. (1984).  
The Body Esteem Scale: multidimensional structure and sex differences in a college population.  
**Journal of Personality Assessment**, **48**, 173-178.
- Furner, A., Hester, C., & Weir, C. (1990).  
Sex differences in the preferences for specific female body shapes.  
**Sex Roles**, **22**, 743-754.
- Gardner, R.M., Gallegos, V, Martinez, R., & Espinoza, T (1989).  
Mirror feedback and judgements of body size.  
**Journal of Psychosomatic Research**, **33**, 603-607.
- Garner, D., & Garfinkel, P (1979).  
The Eating Attitudes Test: an index of the symptoms of anorexia nervosa.  
**Psychological Medicine**, **9**, 273-279.

- Garner, D., Garfinkel, P., Schwartz, D., & Thompson, M. (1980).  
Cultural expectations of thinness in women.  
**Psychological Reports, 47, 483-491.**
- Garner, D., & Rosen, L. (1991).  
Eating disorders among athletes: research and recommendations.  
**Journal of Applied Sport Science Research, 5, 100-107.**
- Glucksman, M., & Hirsch, J. (1969).  
The response of obese patients to weight reduction: the perception of body size.  
**Psychosomatic Medicine, 31, 1-7.**
- Gupta, M., & Schork, N. (1993).  
Aging-related concerns and body image: possible future implications for eating disorders.  
**International Journal of Eating Disorders, 14, 481-486.**
- Gupta, M., Schork, N., & Dhaliwal, J. (1993).  
Stature, drive for thinness and body dissatisfaction: a study of males and females from a non-clinical sample.  
**Canadian Journal of Psychiatry, 38, 59-61.**
- Gustavson, C., Gustavson, J., Pumariega, A., Reinartz, D., Dameron, R., Gustavson, A., Pappas, T., & McCaul, K. (1990).  
Body-image distortion among male and female college and high school students and eating-disordered patients.  
**Perceptual and Motor Skills, 71, 1003-1010.**
- Haimovitz, D., Lansky, L., & O'Reilly, P. (1993).  
Fluctuations in body satisfaction across situations.  
**International Journal of Eating Disorders, 13, 77-84, 1993.**
- Hallinan, C., & Schuler, P. (1993).  
Body shape perceptions of elderly women exercisers and non-exercisers.  
**Perceptual and Motor Skills, 77, 451-456.**
- Hart, E.A., Leary, M.R., & Rejeski, W. J. (1989).  
The measurement of social physique anxiety.  
**Journal of Sport and Exercise Psychology, 11, 94-104.**
- Hundleby, J., & Bourgooin, N. (1993).  
Generality in the errors of estimation of body image.  
**International Journal of Eating Disorders, 13, 85-92.**
- Imm, P., & Pruitt, J. (1991).  
Body shape satisfaction in female exercisers and nonexercisers.  
**Women and Health, 17(4), 87-96.**
- Kenealy, P., Gleeson, K., Frude, N., & Shaw, N. (1991).  
The importance of the individual in the "causal" relationship between attractiveness and self-esteem.  
**Journal of Community and Applied Social Psychology, 1, 45-56.**
- Lerner, R.M., & Jovanovic, J. (1990).  
The role of body image in psychosocial development across the lifespan: a developmental contextual perspective.  
In T Cash & T Pruzinsky (Eds.), **Body images** (pp. 110-127). New York: Guilford Press.
- Markee, N.L., Carey, I.L., & Pedersen, E.L. (1990).  
Body cathexis and clothed body cathexis: is there a difference?  
**Perceptual and Motor Skills, 70, 1239-1244.**
- Mazur, A. (1986).  
US trends in feminine beauty and overadaptation.  
**The Journal of Sex Research, 22, 281-303.**
- Mishkind, M., Rodin, J., Silberstein, L., & Striegel-Moore, R. (1986).  
The embodiment of masculinity.  
**American Behavioral Scientist, 29, 545-562.**
- Norton, K., Olds, T., Olive, S. & Dank, S. (1994).  
Will the real Ken and Barbie please stand up?  
In Proceedings of the International **Conference of Science and Medicine in Sport**, 5-8 October, 1994.  
Brisbane: Sports Medicine Australia.
- Pedersen, E.L., & Markee, N.L. (1991).  
Fashion dolls, representations of ideals of beauty.  
**Perceptual and Motor Skills, 73, 93-94.**

- Pope, H., Katz, D., & Hudson, J. (1993). Anorexia nervosa and "reverse anorexia" among 108 male bodybuilders. **Comprehensive Psychiatry, 34**, 406-409.
- Probst, M., Coppenolle, H., Vandereycken, W. & Goris, M. (1992). Body image assessment in anorexia nervosa patients and university students by means of video distortion: a reliability study. **Journal of Psychosomatic Research, 36**, 89-97.
- Radke-Sharpe, N., Whitney-Saltiel, D., & Rodin, J. (1990). Fat distribution as a risk factor for weight and eating concerns. **International Journal of Eating Disorders, 9**, 27-36.
- Rintala, M. & Mustajoki, P. (1992). Could mannequins menstruate? **British Medical Journal, 305**, 1575-1576.
- Rodin, J., Silberstein, L.R., & Striegel-Moore, R. (1984). Women and weight: a normative discontent. In T.B. Sonderegger (Ed.), **Nebraska Symposium on Motivation, Psychology and Gender**. Lincoln: University of Nebraska Press.
- Roth, D., & Armstrong, J. (1993). Feelings of fatness questionnaire: a measure of the cross-situational variability of body experience. **International Journal of Eating Disorders, 14**, 349-358.
- Rozin, P., & Fallon, A. (1988). Body image, attitudes to weight and misperceptions of figure preferences of the opposite sex: a comparison of men and women in two generations. **Journal of Abnormal Psychology, 97**, 342-345.
- Secord, P., & Jourard, S. (1953). The appraisal of body-cathexis: body-cathexis and the self. **Journal of Consulting Psychology, 17**, 343-347.
- Silberstein, L.R., Striegel-Moore, R.H., Timko, C., & Rodin, J. (1988). Behavioral and psychological implications of body dissatisfaction: do men and women differ? **Sex Roles, 19**, 219-230.
- Silverstein, B., Perdue, L., Peterson, B., & Kelly, E. (1986). The role of the mass media in promoting a thin standard of bodily attractiveness for women. **Sex Roles, 14**, 519-532.
- Slade, P.D., & Russel, G.F. (1973). Awareness of body dimensions in anorexia nervosa: cross-sectional and longitudinal studies. **Psychological Medicine, 3**, 188-199.
- Spillman, D.M., & Everington, C. (1989). Somatotypes revisited: have the media changed our perception of the female body image? **Psychological Reports, 64**, 887-890.
- Striegel-Moore, R., Silberstein, L., & Rodin, J. (1986). Toward an understanding of risk factors for bulimia. **American Psychologist, 41**, 246-263.
- Stunkard, A., & Stellar, E. (1990). Eating and its disorders. In: Cash & T. Pruzinsky (Eds.), **Body images** (pp. 3-20). New York: Guilford Press.
- Sykora, C., Grilo, C., Wilfley, D., & Brownell, K. (1993). Eating, weight and dieting disturbances in male and female lightweight and heavyweight rowers. **International Journal of Eating Disorders, 14**, 203-211.
- The lowdown on liposuction. (1994, December) **She, Cosmetic Surgery**, pp. 30-31.
- Thompson, K. (1986, April). Larger than life. **Psychology Today**, pp. 70-76.
- Thompson, J., Coovert, D., Pasman, L., & Robb, J. (1993). Body image and food consumption: three laboratory studies of perceived calorie content. **International Journal of Eating Disorders, 14**, 445-457.
- Thompson, J.K., & Spana, R.E. (1990). The adjustable light beam method for the assessment of size estimation accuracy. In: Cash & T. Pruzinsky (Eds.), **Body images** (pp. 21-48). New York: Guilford Press.

- Tienboon, R, Rutishauser, I. & Wahlqvist, M. (1994).  
Adolescents' perception of body weight and  
parents' weight for height status.  
**Journal of Adolescent Health, 15**, 263-268.
- Traub, A.C., & Orbach, J. (1964).  
Psychophysical studies of body-image: the  
adjusting body-distorting mirror.  
**Archives of General Psychiatry, 11**, 53-66.
- Tucker, L.A. (.1984).  
Physical attractiveness, somatotype and the  
male personality: a dynamic interactional  
perspective.  
**Journal of Clinical Psychology, 40**, 1226-  
1234.
- Wiseman, C., Gray, J., Mosimann, J., & Ahrens, A.  
(1992).  
Cultural expectations of thinness in women:  
an update.  
**International Journal of Eating Disorders,**  
**11**, 85-98.



## ERGONOMIA: APLICACIÓN DE LA ANTROPOMETRIA AL DISEÑO DEL LUGAR DE TRABAJO

Kamal Kotbiyal

### 1. INTRODUCCION

La ergonomía es la ciencia que nos permite diseñar estaciones de trabajo, procesos, y productos que los seres humanos puedan utilizar eficientemente, fácilmente, y de forma segura. La ergonomía asegura que los usuarios sean el centro de todas las actividades de diseño. El enfoque centrado en el ser humano considera la información sobre sus capacidades físicas, fisiológicas, y mentales; y sus limitaciones, para diseñar cosas para el ser humano. "También tiene en cuenta las características de comportamiento, sociales, y culturales de los usuarios. La ergonomía es, de hecho, la ciencia fundamental del diseño.

La Asociación Internacional de Ergonomía define esta ciencia como:

El estudio de los aspectos anatómicos, fisiológicos, y psicológicos de los seres humanos en el ámbito de trabajo. Se preocupa por optimizar la eficiencia, la salud, la seguridad, y el confort de las personas en el trabajo, en la casa, y en los ambientes de recreación. Esto, por lo general, requiere el estudio de los sistemas en los cuales interactúan seres humanos, máquinas, y medio ambiente, con el fin de adecuar la tarea a las personas.

En la Figura 1 se muestra un modelo simple de interacción entre los seres humanos, las máquinas, y el medio ambiente. Una persona interactúa con las máquinas en dos puntos: en los controles y en las muestras o resultados. En los controles, la persona pasa la información a la máquina, y en las muestras o resultados, la máquina pasa la información a la persona. Por lo tanto, se establece un flujo de información. Factores ambientales tales como la iluminación, el «stress» térmico, el ruido, etc. afectan el flujo de información entre la persona y las máquinas. La ergonomía busca optimizar el funcionamiento de esta corriente de información.

En la literatura, el término *factores humanos o ingeniería de los factores humanos* es utilizado frecuentemente. Ergonomía y factores humanos (ingeniería) significan esencialmente lo mismo - es decir, diseño para el uso humano. Sin embargo, a muchos investigadores les gusta hacer una distinción sutil entre los dos términos -los factores humanos enfatizan las características psicológicas (o cognitivas), mientras que la ergonomía pone énfasis en los aspectos fisiológicos del usuario.

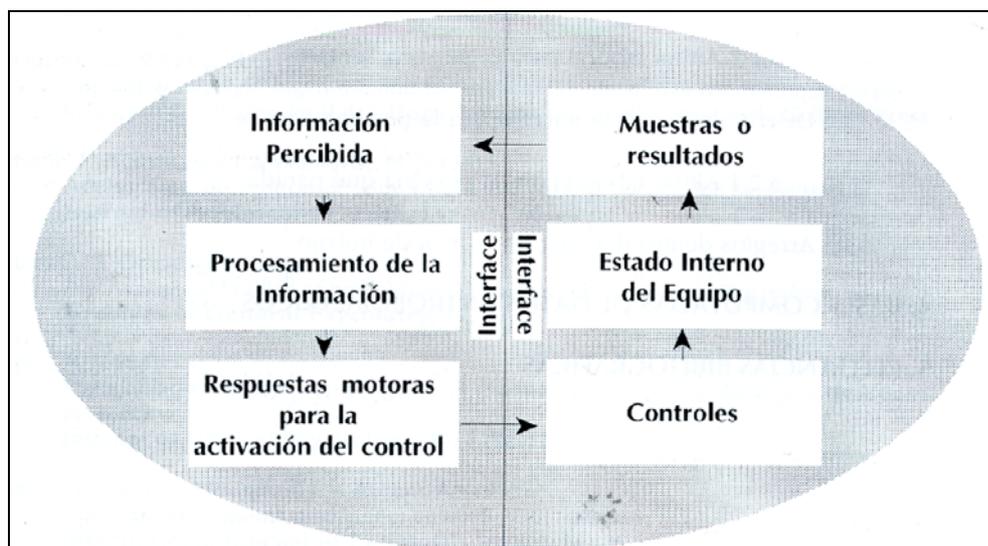


FIGURA 1. Interacción ser humano-máquina-medio ambiente.

## 2. LA ANTROPOMETRIA EN LA ERGONOMIA

La Antropometría - ciencia de las mediciones de los seres humanos -es de vital importancia para la ergonomía. La antropometría descubre las relaciones entre las distintas dimensiones corporales, como la longitud del antebrazo y la estatura. Estas relaciones pueden ser utilizadas para el diseño o evaluación de los productos. La aplicación sistemática de la antropometría puede minimizar la necesidad de que las *personas se adapten a situaciones* laborales desfavorables, lo que a su vez reducirá el «stress» músculo-esquelético sobre el cuerpo. La antropometría nos permite desarrollar normas y requisitos específicos (bancos de referencia) contra los cuales un producto, máquina, herramienta, o pieza de algún equipo puede ser evaluada para asegurar su adecuancia para la población usuaria (Roebuck, Kroemer, Thompson, 1975).

### 2.1 La Antropometría y el diseño del lugar de trabajo

El lugar de trabajo es donde realizamos nuestra tarea u oficio. El trabajo podría consistir en tareas simples como empacar botellas de shampoo en una caja, armar un circuito electrónico para un TV color, palpar o manipular huesos o músculos de un paciente, dar suelta a un paciente en la cama, o preparar una taza de té. O el mismo podría consistir en tareas complejas, tales como volar en una nave espacial, procesar el control en una planta química o nuclear, tocar un piano, pintar una obra de arte, o realizar una delicada operación en el cerebro. Cualquiera sea la naturaleza de la tarea, sea simple o compleja, el diseño del lugar (le trabajo debería ser tal que la persona no tenga, por ejemplo, que ejercer irás fuerza de la necesaria o adoptar posturas incómodas que pudieran afectar sus habilidades de manipulación: En otras palabras, el lugar de trabajo debería ser óptimo para la persona y la tarea.

#### 2.1.1 Diseño óptimo del lugar de trabajo

Para crear un lugar óptimo de trabajo para la tarea y la persona, necesitamos tener en cuenta las características antropométricas del ser humano en el proceso del diseño. Al mismo tiempo, no deberíamos negar las condiciones ambientales, tales como la iluminación, los ruidos, las vibraciones, y el confort térmico, bajo las cuales se lleva a cabo la tarea. Tampoco debemos ignorar los aspectos cognitivos del trabajo, en las consideraciones sobre el diseño. De

hecho, debemos considerar al ser humano-trabajo-medio ambiente (ver Figura 1) como un sistema en el cual cada uno interactúa con los otros, para lograr las metas y objetivos estipulados. En este capítulo, nos dedicaremos principalmente a los temas relacionados con el diseño del lugar de trabajo sobre el cual la antropometría tiene una directa relación.

Hay muchas preguntas que necesitan ser consideradas al diseñar el lugar de trabajo. Qué tipos de datos son útiles para el diseño laboral? Cómo deberíamos utilizar los datos antropométricos? Deberían estar diseñados los lugares de trabajo para la persona promedio? La lista no es concluyente y pueden agregarse más preguntas a la misma. En este capítulo, intentaremos obtener respuestas a algunas de estas preguntas.

### 2.2 Datos antropométricos

Los datos antropométricos de los seres humanos pueden dividirse en dos categorías principales:

- datos estáticos o estructurales, y
- datos funcionales (dinámicos)

#### 2.2.1 Datos estáticos o estructurales

Los datos antropométricos o estructurales están estrechamente relacionados con las estructuras corporales rígidas como las extremidades (parte superior del brazo, antebrazo, piernas, etc.). Los segmentos óseos, conectados entre sí por las articulaciones, aportan la estructura corporal firme. Se identifican puntos o marcas de referencia sobre los huesos y se realizan mediciones entre puntos de referencia.

Las mediciones estáticas normalmente son realizadas en posturas normatizadas, de parado o sentado. La posición ~standard~ de parado requiere que la persona se pare erecta con ambos pies juntos, mirando derecho hacia adelante, y los brazos colgando relajados a los costados. La cabeza se ubica en el plano de Frankfort (ver Capítulo 2). En la posición de sentado, la persona tiene que sentarse en un asiento horizontal rígido, con el tronco derecho, la cabeza en el plano de Frankfort, los brazos colgando verticalmente hacia abajo, y el antebrazo en posición horizontal. Además, ambos pies deben descansar cómodamente en el piso. Para ello, se puede necesitar una silla ajustable.

Se debería destacar que dado que la medición y recolección de los datos antropométricos es costosa y

lleva tiempo, se debe poner cuidado en seguir estrictamente las normas o «standars» de evaluación.

Medición	Descripción
<b>Estatura</b>	Una línea recta, medición punto a punto, normalmente tomada desde el piso con el sujeto parado, o desde la superficie horizontal en la cual el sujeto se sienta.
<b>Diámetro</b>	Una línea recta, medición horizontal punto a punto, en el plano frontal.
<b>Profundidad</b>	Una línea recta, medición horizontal punto a punto, en el plano sagital.
<b>Distancia</b>	Una línea recta, medición punto a punto, entre marcas anatómicas.
<b>Circunferencia</b>	Una medición cerrada siguiendo un contorno corporal.
<b>Curvatura</b>	Una medición punto a punto siguiendo el contorno, normalmente no circular.

**TABLA 1.** Tipos de mediciones de interés para el diseño del lugar de trabajo (de Kroemer, Kroerner, & Kroemer-Elbert, 1990)

Dimensión corporal	Media (cm)	Hombres	Mujeres	
		DS (cm)	Media (cm)	DS (cm)
1. Estatura	174.6	7.0	161.0	6.2
2. Altura hasta el ojo	163.0	6.9	150.5	6.1
3. Altura hasta el hombro	142.5	6.6	131.0	5.8
4. Altura hasta el codo	109.0	5.2	100.5	4.6
5. Altura hasta los nudillos	75.5	4.1	72.0	3.6
6. Altura sentado	91.0	1.6	85.0	3.5
7. Altura sentado, hasta el ojo	79.0	3.5	74.0	3.3
8. Altura sentado, hasta el hombro	59.5	3.2	55.5	3.1
9. Altura sentado, hasta el codo	24.5	3.1	23.5	2.9
10. Grosor del muslo	16.0	1.5	15.5	1.7
11. Longitud glúteo-rodilla	59.5	3.1	57.0	3.0
12. Longitud glúteo-póplitea	49.5'	3.2	48.0	3.0
13. Altura hasta la rodilla	54.5	3.2	50.0	2.7
14. Altura hasta el hueco poplíteo	44.0-	2.9	40.0	2.7
15. Diámetro de hombro (bideltoides)	46.5	2.8	39.5	2.4
16. Diámetro de cadera	36.0	2.9	37.0	3.8
17. Profundidad del tórax (busto)	25.0	2.2	25.0	2.7
18. Profundidad abdominal	27.0	3.2	25.0	3.0
19. Envergadura	179.0	8.3	160.5	7.1
20. Diámetro de la cabeza	15.5	6.0	14.5	6.0
21. Longitud de la mano	19.0	1.0	17.5	9.0
22. Longitud de hombro al codo	36.5	2.0	33.0	7.0
23. Longitud codo-punta de los dedos	47.5	2.1	43.0	1.9
24. Extensión vertical, asido (parado)	206.0'	8.0	190.5	7.1
25. Extensión vertical asido(sentado)	124.5	6.0	115.0	5.3
26. Extensión hacia adelante asido (desde la parte posterior del hombro)	78.0	3.4	70.5	3.1

**TABLA 2.** Datos antropométricos de la población británica adulta (19-65 años) (de Pheasant, 1986).

De este modo, puede asegurarse que los datos obtenidos por diferentes investigadores individuales y en distintos grupos étnicos y ocupacionales puedan ser comparados y utilizados para el diseño.

Se pueden medir distintos tipos de dimensiones estáticas o estructurales. La Tabla 1 enumera algunos de los tipos de medición que son de interés para el diseño del lugar de trabajo. Se han llevado a cabo algunos estudios antropométricos con el fin de preparar tablas de datos estructurales que puedan ser

utilizadas por los diseñadores (NASA, 1978; Gordon y cols., 1989; Pheasant, 1986). En algunos de estos estudios se han obtenido varios cientos de dimensiones corporales (NASA, 1978). Sin embargo, la mayoría de estos datos no son obtenidos a partir de la población general, sino de distintas poblaciones especiales tales como militares, pilotos de la fuerza aérea, trabajadores en industrias específicas, y estudiantes universitarios. Por lo tanto, la utilidad de

os datos disponibles para el diseño de los lugares de trabajo y de los productos para el consumidor se ve algo limitada. La Tabla 2 presenta algunos datos antropométricos seleccionados en la población británica. Debido a que los ergónomos utilizan distintas mediciones y diferentes marcas anatómicas que otros grupos relacionados con la antropometría, la Tabla 3 brinda una descripción de los sitios de medición para los datos de la Tabla 2.

Dimensión corporal	Descripción
1. Estatura	Altura desde el piso hasta el vértex, normalmente no en extensión
2. Altura hasta el ojo	Desde el piso, hasta el ángulo interno del ojo
3. Altura hasta el hombro	Desde el piso hasta el punto acromial.
4. Altura hasta el codo	Desde el piso hasta el punto radial.
5. Altura hasta los nudillos	Desde el piso hasta el tercer metacarpiano
6. Altura sentado	Desde la superficie de sentado hasta el vértex
7. Altura sentado hasta el ojo	Desde la superficie de sentado hasta el ángulo interno del ojo.
8. Altura sentado hasta el hombro	Desde la superficie de sentado hasta el punto acromial.
9. Altura sentado hasta el codo	Desde la superficie de sentado hasta la cara inferior del codo.
10. Grosor del muslo	Desde la superficie de sentado hasta la parte superior del tejido blando del muslo (sin compresión), en su punto más grueso.
11. Longitud glúteo-rodilla	Distancia horizontal desde la parte superior del glúteo (sin compresión), hasta la cara anterior de la rodilla.
12. Longitud glúteo-poplíteo	Distancia horizontal desde la parte posterior de los glúteos (sin compresión) hasta la parte posterior del ángulo poplíteo (donde la parte posterior de las piernas se encuentra con la parte inferior del muslo).
13. Altura hasta la rodilla	Distancia vertical desde el piso hasta la superficie superior de la rodilla, normalmente hasta el cuádriceps.
14. Altura hasta el ángulo poplíteo.	Distancia vertical desde el piso hasta el ángulo poplíteo.
15. Diámetro del hombro (bideltoides)	Diámetro bideltoides.
16. Diámetro de cadera	Distancia máxima entre caderas, en la posición sentado. (Nota: no es el diámetro biliocrestídeo)
17. Profundidad del tórax (busto)	Distancia máxima horizontal, desde el plano de referencia vertical, hasta el frente del tórax en los hombres, o los pechos en las mujeres. (Nota: no es el diámetro A-P del tórax.
18. Profundidad abdominal	Máxima distancia horizontal, desde el plano de referencia vertical, hasta el frente del abdomen en la posición sentado.
19. Envergadura	La máxima distancia horizontal entre las puntas de los dedos, cuando ambos brazos están estirados hacia los costados.
20. Diámetro de la cabeza	Diámetro máximo de la cabeza por sobre el nivel de las orejas.
21. Longitud de la cabeza	Distancia entre la glabella y el occipucio.
22. Longitud hombro a codo	Distancia desde el acromial hasta la parte inferior del codo, en la posición «standard» de sentado.
23. Longitud codo-punta de los dedos	Distancia desde la cara posterior del codo hasta la punta del dedo meñique, en la posición «standard» de sentado.
24. Extensión vertical asido (parado)	Distancia desde el piso hasta el centro de un rodillo cilíndrico; el individuo totalmente tomado con la palma de la mano cuando el brazo es elevado verticalmente por sobre la cabeza, en la posición de parado.
25. Extensión vertical asido (sentado)	Distancia desde el piso hasta el centro de un rodillo cilíndrico; el individuo totalmente tomado con la palma de la mano cuando el brazo es elevado verticalmente por sobre la cabeza, en la posición de sentado.
26. Extensión hacia adelante asido	Distancia desde la curvatura del hombro (desde la parte posterior del hasta el centro de un rodillo hombro) cilíndrico; totalmente tomado con la palma de la mano cuando el brazo es elevado horizontalmente en la posición de sentado

**TABLA 3.** Definiciones de las variables antropométricas utilizadas en la Tabla 2 (adaptado de Pheasant, 1986, pp. 72-81).

## 2.2.2 Datos dinámicos o funcionales

Para poder realizar una tarea, el trabajador interactúa dinámicamente con su lugar de trabajo. De acuerdo a la naturaleza del mismo, el trabajador tendrá constantemente que adoptar o corregir la postura, de manera de poder llegar a la tecla de control, tomar una herramienta, aplicar fuerza, hacer un contacto visual con una persona, o mover cosas alrededor del lugar. La naturaleza dinámica de la interacción entre el ser humano y el lugar de trabajo tiene implicancias importantes para el diseño del espacio. Hace necesario que los datos, sobre las distintas dimensiones corporales utilizadas para el diseño de los lugares de trabajo, sean determinados en las condiciones laborales reales. Este tipo de datos, llamados datos antropométricos dinámicos o funcionales, se relacionan con las condiciones en las cuales se realiza el trabajo. Se debe resaltar que estos datos no se deberían utilizar si se cambian las condiciones laborales. Por ejemplo, los datos sobre el alcance de un conductor ajustado al asiento por el cinturón de seguridad no deberían ser utilizados para determinar el valor de diseño para un operador de máquinas que se mueve libremente.

Los datos funcionales o dinámicos dependen de la interacción entre las distintas partes corporales involucradas en la actividad. La postura de la persona en el trabajo es un criterio importante en los datos dinámicos. Por ejemplo, si estás tratando de llegar a una caja en una cinta transportadora en movimiento en frente del banco de trabajo, te podrías inclinar y extender completamente los brazos para aumentar el alcance. De manera similar, un lector en la biblioteca podría pararse en puntas de pie para poder llegar a un libro que está en las estanterías superiores. Con frecuencia, los jugadores de básquetbol aumentan su alcance funcional a través de los saltos. Por el contrario, el alcance de una persona puede verse limitado a través de la restricción del movimiento corporal, por ejemplo, por el cinturón de seguridad en el automovilista (Bullock, 1974).

Al contrario de lo que ocurre con los datos estáticos, no existen tablas de datos funcionales fácilmente disponibles para que sean utilizadas por los diseñadores. Por lo tanto, los diseñadores tienen que coordinar sus procesos de fabricación con ergonomistas que puedan planificar estudios para recolectar los datos necesarios.

## 2.2.3 Fuentes de variabilidad antropométrica

Debe destacarse que las dimensiones estructurales (y, por lo tanto funcionales) están influidas por distintos factores tales como la edad, el sexo, la ocupación, las condiciones ambientales, y el grupo étnico.

En el proceso de crecimiento normal, la mayoría de las dimensiones corporales del ser humano atraviesan una serie de cambios. Lleva cerca de 20 años alcanzar la estatura máxima. Varias longitudes corporales, perímetros, y profundidades también se estabilizan en la etapa de madurez. Sin embargo, el proceso normal de envejecimiento continúa y afecta los tejidos biológicos, lo que resulta en cambios tales como la reducción en la estatura debido al aplastamiento de los discos vertebrales, y una disminución en la fuerza muscular y otras capacidades.

Los hombres y las mujeres, en general, difieren en las dimensiones corporales. Por ejemplo, la estatura media es mayor en los hombres, el diámetro de cadera es mayor en las mujeres. En muchas dimensiones no se observan diferencias significativas entre ambos sexos. Por lo tanto, un diseñador no debería hacer generalizaciones acerca de los cuerpos masculinos y femeninos, y debería considerar cada dimensión de diseño en forma separada.

El mundo de hoy está atravesando tremendos cambios socio-económicos y políticos, resultante en una migración, siempre en aumento, de personas. La migración ocurre no sólo entre países sino también internamente dentro de un mismo país. Las personas pueden moverse de una provincia a otra por distintas razones sociales, ambientales, o económicas. Por lo tanto, las poblaciones de los países no pueden considerarse homogéneas. Los lugares de trabajo industriales, de servicio, y otros, ahora tienen poblaciones mixtas, no sólo en tipo de sexo sino también en grupos étnicos (caucásicos; asiáticos, etc.).

La heterogeneidad poblacional es de gran importancia para las consideraciones antropométricas en el diseño de los lugares de trabajo y productos al consumidor. Por ejemplo, se ha observado que las proporciones corporales de las personas con diferentes orígenes étnicos son diferentes. Los negros africanos tienen proporcionalmente extremidades inferiores más largas que la población blanca europea. Las personas que pertenecen a poblaciones chinas, japonesas, indonesias, y vietnamitas tienen proporcionalmente extremidades inferiores más cortas que los europeos. Por lo tanto, los lugares de trabajo y las comodidades

no pueden ser utilizadas fácil y eficientemente por todos los miembros de la población debido a estas variaciones.

La ocupación ejerce una influencia considerable sobre las características antropométricas de la población en ese grupo. Por ejemplo, las personas en las fuerzas armadas por lo general son más altas, los colectiveros y conductores tienen perímetros más grandes, los oficinistas tienen una menor fuerza física que los trabajadores manuales (por ej., en la industria de la construcción, los jugadores de básquetbol son más altos, etc). Estas variaciones pueden deberse ya sea a un criterio de selección deliberado, selección por prejuicio o selección natural. Por lo tanto, debemos ser cuidadosos al seleccionar una serie de datos para una aplicación tal como el diseño del lugar de trabajo.

También pueden producirse cambios antropométricos debido a una mejoría en la nutrición, dieta, reducción de enfermedades infecciosas, urbanización, actividad física, matrimonios entre comunidades, etc. Los efectos de estos factores normalmente son observados en el transcurso de un largo período de tiempo, usualmente en varias décadas. Por ejemplo, hay más personas mayores en nuestras poblaciones ahora que en cualquier otro momento de nuestra historia. Los proyectos de largo alcance como edificios, facilidades en la comunidad, etc., necesitarán considerar estos cambios en su diseño.

Factores ambientales tales como una gran altura, climas fríos, presión atmosférica, etc., también pueden afectar las dimensiones antropométricas. La exposición a bajas presiones puede, por ejemplo, provocar inflamación en las articulaciones o extremidades, lo cual en cambio podría reducir la movilidad y el rango de movimiento de una articulación. Los viajes espaciales o por lugares de gran altura también podrían producir cambios en las dimensiones corporales, por ejemplo, la longitud de la columna podría aumentar, en el viaje espacial, debido a los efectos anti-gravitatorios.

Si bien hoy tenemos más información antropométrica que hace una década atrás, aún la calidad de los datos deja mucho que desear. Los datos actualmente disponibles son hi-dimensionales, es decir, mediciones realizadas en un plano definido. Es necesario aportar coordenadas tri-dimensionales de los puntos o marcadores de referencia en el cuerpo, en un sistema global de coordenadas de manera que se puedan obtener valores exactos de la dimensión en el espacio (Kroemer y cols., 1994). Para poder recolectar tales datos necesitamos tener fácil acceso a una instrumentación sofisticada y a las técnicas necesarias para recolectar los datos.

## 2.3 La utilizando los datos antropométricos

Como mencionamos anteriormente, existen diversas fuentes de datos antropométricos disponibles a los diseñadores. Sin embargo, es importante mencionar algunas características importantes de los datos, antes de describir un procedimiento para utilizar los datos antropométricos.

- Los datos antropométricos se observa que están normalmente distribuidos en la mayoría de las dimensiones corporales. La implicancia importante de este hecho es que podemos aplicar los procedimientos estadísticos usuales para manipular y analizar los datos que se adecuen al propósito del diseño. Sólo necesitamos conocer la media ( $\bar{X}$ ) y el desvío standard ( $s$ ) de las dimensiones corporales.

Se sabe que algunas dimensiones son más variables que otras. La variabilidad de una dimensión está expresada en términos del coeficiente de variación (CV). El CV, expresado como porcentaje, se obtiene dividiendo el desvío standard ( $s$ ) por la media, y multiplicando por 100:

$$CV = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

Las longitudes corporales tales como la estatura, la altura hasta el codo, la longitud (le la pierna, etc. tienen menor variabilidad (CV = 3-5 %) que los diámetros corporales (cadera, hombro, etc.), o que las profundidades (tórax, abdomen, etc.), las que tienen un CV en el rango del 5-9 %.

- La correlación entre dimensiones corporales varía ampliamente. Algunas dimensiones corporales (estatura y altura hasta los ojos, estatura y altura hasta el poplíteo) tienen una alta correlación, mientras que otras, como por ejemplo el peso y la altura, tienen una pobre relación.

El uso de datos antropométricos para el diseño de los lugares (le trabajo, máquinas, equipos y productos debería proseguir en una forma sistemática para lograr los mejores resultados. continuación se presenta un procedimiento paso a paso:

### Paso 1

Seleccionar la población usuaria. Esto significa esencialmente determinar el sexo (hombre mujeres, o ambos), la edad (niños, adultos jóvenes, ancianos), la ocupación, la nacionalidad o los aspectos étnicos y culturales.

**Paso 2**

Determinar qué dimensiones corporales son necesarias para el diseño. Las variables antropométricas podrían incluir la estatura, el alcance hacia adelante, diámetro de cadera, perímetro de cabeza, etc. Por ejemplo, el diseño para una estación de computadora podría requerir las alturas poplíteas, hasta el codo, y hasta la rodilla. Para el diseño de un panel de control, el alcance hacia adelante podría ser un dato necesario. Luego, en este paso deber controlarse si todos los datos relevantes están disponibles. Si falta algún dato se deberían tomar los recaudos para conseguirlos. Los datos faltantes pueden obtenerse de dos formas Pueden ser estimados a partir de la información existente usando un procedimiento estadístico (descripto posteriormente), o pueden determinarse experimentalmente llevando a cabo mediciones en una muestra representativa de la población usuaria.

**Paso 3**

Determinar los límites del diseño. Los límites dependen del criterio de diseño. El criterio n debería ser general, sino específico. No es bueno decir que el asiento debería ser cómodo Los criterios deberían ser expresados en términos de dimensiones corporales específicas. I ejemplo, si todas las personas que trabajan en la oficina deben poder alcanzar cosas que están en la estantería de arriba, el criterio de diseño en términos de dimensión corporal en alcance vertical con agarre. El límite del diseño para este caso entonces estará establecido la persona más baja en la oficina. Por el contrario, si el propósito del diseño es que todas personas que vienen a ver una ópera puedan entrar al teatro sin agachar sus cabezas, el límite estará establecido por la persona más alta en la población usuaria. Este método, normalmente, se conoce como -*diseños para los extremos*» (Kantowitz & Sorkin, 1983).

A veces es aconsejable establecer un rango de valores como límites del diseño (*diseño para: rango ajustable*). En este caso, el diseño debería incorporar un ajuste en la dimensión requerida. Por ejemplo, ahora las sillas (le oficina están diseñadas con un asiento con altura ajustable. Los diseños ajustables normalmente son más costosos, pero la aceptación del usuario es mayor.

Un método todavía común y popular entre los diseñadores es establecer el límite para la «persona promedio» (*diseño para la media*). Ejemplos de este método se pueden observar en los diseños de asientos del transporte público, mostradores en los

supermercados, etc. Sin embargo, debe destacarse que la «persona promedio» es una cosa imaginaria que existe solamente en la mente del diseñador. En la vida real, es imposible encontrar una persona que tenga todas las dimensiones corporales promedio. Además, el diseño basado en la persona «promedio» (percentil 50%) pondrá en desventaja al menos al 50 % de la población usuaria.

El percentil es un valor de la dimensión tal que cierto porcentaje (le personas están en, o por debajo de ese valor. Por ejemplo, el percentil 95%, representa un valor tal que el 95 por ciento (le las personas en la población están en, o por debajo de ese valor. Para calcular el valor (X) correspondiente a un determinado percentil, para una dimensión seleccionada, necesitamos *sumar o restar a la media* un valor obtenido multiplicando el *desvío standard* por un factor p que se puede seleccionar a partir de la tabla Estadística 4. Es decir:

$$x = \bar{x} + s \times p$$

Percentil	Valor p
2.5	-1.96
5.0	-1.64
10.0	-1.28
50.0	0.00
90.0	1.28
95.0	1.64
97.5	1.96

**TABLA 4.** Valores para distintos percentiles

Donde, p es una constante para el percentil (Tabla 4). Por ejemplo, para calcular el percentil 95 para la estatura de los hombres británicos, tenemos (de la Tabla 2):

$$\bar{x} + (174.0 \text{ cm}) + s (7.0 \text{ cm}) \times p (1.64) = 185.5 \text{ cm}$$

Una pregunta que a menudo se les hace a los diseñadores es qué cantidad de la población usuaria debería ser acomodada en el diseño. En la vida real, no todos los individuos en la población usuaria pueden ser satisfechos, ya que el costo de tal diseño sería prohibitivo desde el punto de vista comercial. Factores técnicos tales como la técnica de fabricación y la tecnología también pueden determinar el rango de acomodación. En aplicaciones ergonómicas, normalmente, se intenta satisfacer al 90-95 % de la

población. Sin embargo, en situaciones específicas, el 100% de la población debe ser acomodada, sin importar cuál podría ser el costo. Un ejemplo es la seguridad de las maquinarias en los lugares (le trabajo). Como el riesgo de lesiones graves es extremadamente alto, todas las personas que podrían directa o indirectamente utilizar la maquinaria debe permanecer alejada de los puntos de peligro, tales como ejes rotadores, motores eléctricos, y herramientas cortantes.

#### Paso 4

Fabricar un modelo del tamaño real. Este es un paso fundamental en el proceso de diseño y es útil para revelar fallas en el mismo. Los modelos de los equipos o de las facilidades pueden construirse con materiales económicos como cartón, goma espuma, madera, o plástico. La construcción puede ser temporaria de manera que pueda alterarse fácilmente, si es necesario. Las pruebas con los modelos deberían incluir condiciones de la vida real, es decir, tareas, usuarios, y condiciones representativas, de modo que cuando se manufacture el producto final funcione como es de esperar. Si las pruebas con las muestras revelan cualquier problema, debería repetirse el proceso de diseño hasta que se obtenga un producto aceptable.

#### 2.3.1 Cómo estimar los datos faltantes

Es bastante frecuente que las tablas de datos antropométricos no contengan mediciones de todas las dimensiones corporales. A menudo, los datos antropométricos son recolectados con aplicaciones específicas en mente, tales como la ropa o equipo militar. Por lo tanto, se recolectan solamente los datos necesarios. No es extraño encontrar muchos datos faltantes necesarios para algún otro propósito. Por ejemplo, la Tabla 2 no contiene datos sobre la altura desde el hombro hasta la punta de los dedos.

Para obtener estos datos faltantes, se pueden utilizar dos métodos. Uno es llevar a cabo un estudio antropométrico para medir la dimensión requerida. Esto no siempre puede ser posible debido a restricciones de tipo económicas o técnicas. El otro método es de naturaleza estadística. El principio básico es pensar en la dimensión requerida en términos de otras dimensiones sobre las cuales ya tenemos datos. De acuerdo a principios estadísticos los valores medios de dos dimensiones pueden sumarse o restarse para obtener el valor medio de la tercera dimensión. Por ejemplo, para estimar la altura

promedio entre el hombro y la punta de los dedos en los hombres, podemos sumar la altura desde el hombro al codo (Dimensión 22) y la altura desde el codo hasta la punta (le los dedos (Dimensión 23). Es decir:

#### hombro hasta punta de los dedos

$$(\bar{x}) = \bar{x}_{22} + \bar{x}_{23} \mathbf{36.5 + 47.5 = 84 \text{ cm}}$$

Para calcular un percentil a partir del valor promedio, necesitamos conocer el desvío standard de la altura desde los hombros hasta la punta de los dedos. Esto se puede calcular utilizando el coeficiente de variación, para diversas clases de dimensiones corporales. En este caso, el CV para longitudes corporales cortas resulta ser de 8.8%. Por lo tanto, el desvío standard de la longitud hombro-punta de dedos sería

$$s = \frac{CV \times \bar{X}}{100} = \frac{8.8 \times 84}{100} = 7.39 \text{ cm}$$

Ahora, si necesitamos el valor del percentil 95% para la longitud del hombro a la punta de los dedos, podemos calcularlo de la siguiente manera:

$$X_{\text{percentil } 95} = \bar{x} + s \times 1.64 = 84 + 7.4 \times 1.64 = 96.2 \text{ cm}$$

#### 2.3.2 Ejemplos

##### Ejemplo 1: La altura máxima de una estantería de almacenaje en una oficina

La altura máxima de una estantería de almacenaje debería ser tal que todos los usuarios de la oficina puedan alcanzar los elementos guardados sin levantar su brazo por encima del nivel de los hombros. Por lo tanto, la altura de la estantería estará determinada por la persona con la menor altura, de parado hasta los hombros. Supongamos que entre los usuarios en la oficina se encuentran hombres y mujeres. Como las mujeres, en promedio, tienen una menor altura hasta los hombros, consideraremos la mujer más baja en la oficina. También consideremos, para los fines de este ejercicio, que todos los usuarios son británicos, para quienes los datos antropométricos están dados en la Tabla 2. Utilizando los valores de la media y del desvío standard para las mujeres, a partir de la Tabla 2, y el correspondiente valor de p a partir de la Tabla 3, el 5to. percentil para la altura hasta los hombros es,

$$X_{5\text{to percentil}} = 131 - 5.8 \times 1.64 = 121.5 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el nivel más alto de la repisa en la oficina no debería exceder los 121.5 cm.

### Ejemplo 2: Altura del asiento de la silla para el trabajo en la oficina

Las sillas en la oficina son utilizadas tanto por hombres como por mujeres. Dada la mezcla multicultural de los empleados australianos en las oficinas, está claro que las sillas con altura fija no son una buena idea. Es aconsejable proveer de sillas ajustables. Por lo tanto, la altura del asiento de una silla de oficina es el caso de «diseños ajustables», discutido anteriormente. Para determinar el rango de ajuste deberíamos considerar las personas más bajas (digamos una mujer china en el 5to. percentil) y las personas más altas (un hombre británico en el 95to. percentil). La altura del asiento debería ser tal que el usuario pueda apoyar sus pies en el piso. Para ello, consideraremos la altura poplítea como la dimensión adecuada para el diseño. La altura poplítea para la mujer china en el 5to. percentil y para el hombre británico en el 95to. percentil puede estimarse en 32.5 cm y 49.0 cm, respectivamente. Por lo tanto, el rango de ajuste para el asiento de la silla debería ser de 32.5 a 48.8 cm.

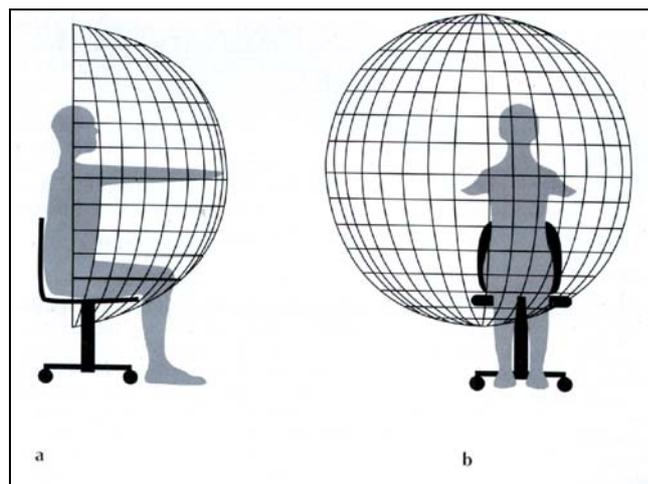
## 3. DISEÑO DEL LUGAR DE TRABAJO

Como se mencionó anteriormente, el diseño del lugar de trabajo debería tener en cuenta la naturaleza de la actividad y las características personales del operador. También debería considerar si la actividad será realizada en posiciones de sentado o de parado, ya que esto influirá en los requerimientos del lugar de trabajo. La decisión sobre si el trabajo debería realizarse sentado o parado depende de distintos factores, entre los cuales son importantes el tipo, duración, intensidad, repetitividad y requerimiento de destrezas de la actividad, y la variabilidad de tareas (Eastman Kodak, 1983). Por lo general, si el trabajo se va a desarrollar durante períodos extensos de tiempo, requiere bajo costo fisiológico (el trabajo es suave) y demanda manipulaciones finas, se prefiere un lugar de trabajo sentado. Si el trabajo es intenso, requiere frecuentes movimientos y es de corta duración, se recomienda trabajar parado. Es preferible un lugar de trabajo sentado/parado si las tareas pueden ser realizadas en posiciones, ya sea de parado o sentado.

### 3.1 El trabajo sentado

Una consideración importante en el diseño del lugar de trabajo para el operador sentado es que todos los elementos utilizados para la tarea, tales como herramientas, materiales, controles, etc., estén a un alcance fácil y cómodo para la persona. El espacio dentro del cual una persona es capaz de llegar sin estirarse o inclinarse está limitado por el alcance funcional del brazo. La Figura 2 muestra la superficie normal de alcance de un operador sentado. El espacio laboral tri-dimensional, formado por el alcance del brazo, está influenciado por muchos factores tales como la dirección de movimiento, la naturaleza de la tarea, la altura de trabajo y la ropa utilizada por el operador. La presencia de factores limitantes, tales como elementos de seguridad o cinturón de seguridad que pueden prevenir el movimiento libre del cuerpo, también afecta el alcance del brazo. El grado en el cual el alcance del brazo está afectado por limitaciones depende del tipo de restricción (Gang, Bakhen, & Saxena, 1982).

El alcance normal también está influido por las características personales (edad, sexo, grupo étnico, discapacidad, etc.) del operador. Para acomodar a la mayoría de la población usuaria (normalmente el 95 %) se debería considerar para el propósito del diseño el rango (el alcance de la persona en el 5to. percentil). La lógica de esto es que si la persona con la longitud de brazo más corta puede alcanzar un punto en el espacio laboral, entonces todos los demás en la población usuaria pueden llegar a ese punto.



FIGURAS 2a y 2b. Superficie normal de alcance del brazo izquierdo de un operador sentado.

La capacidad de alcance de una persona sentada puede aumentarse inclinando o estirando el cuerpo. Ocasionalmente esto se puede permitir, pero en el trabajo normal se debería evitar, en la medida de las

posibilidades. Es importante mencionar que la elongación o inclinación frecuentes pueden perjudicar al cuerpo. Además, podría crear problemas de seguridad en el lugar de trabajo. Por ej., las inclinaciones o estiramientos extremos pueden hacer que una persona pierda el equilibrio, especialmente si está llevando una carga en las manos. La capacidad de alcance hacia adelante depende de la altura de la superficie de trabajo. La capacidad de alcance disminuirá a mayores alturas, ya que impedirá que la persona se incline completamente hacia adelante.

### 3.1.1 Altura laboral para la persona sentada

La altura de trabajo es la altura a la cual se realiza la tarea. Esta altura, generalmente, depende de la naturaleza del trabajo llevado a cabo por el operador. Sin embargo, las preferencias individuales también pueden afectar la elección de la altura. Por lo tanto, tanto la naturaleza de la actividad como las preferencias individuales, deberían tenerse en cuenta al momento de determinar la altura óptima.

Como el trabajo sentado involucra principalmente a manos y brazos, la altura debería ser tal que las

articulaciones del codo y hombro estén en posiciones neutras (relajadas). Esto implica que el ángulo de la articulación del codo debería ser aproximadamente de 90 % (es decir, que el antebrazo esté paralelo a la superficie de trabajo) y que la parte superior del brazo esté verticalmente hacia abajo. En otras palabras, el trabajo debería realizarse a la altura del codo. Sin embargo, se debería mencionar que la naturaleza de la actividad determinará en última instancia la altura real de trabajo. Por ejemplo, las investigaciones (Ayoub, 1973) indican que un trabajo de precisión (que implica destreza) se realiza mejor a alturas por encima (aproximadamente 5 a 15 cm) de la altura del codo. De forma similar, los trabajos que demandan una constante percepción visual (por ejemplo la inspección de partes y componentes), deberían ser elevados para llevarlos cerca de los ojos. Por el contrario, el trabajo que supone movimientos repetitivos, como escribir a máquina, preferentemente deberían llevarse a cabo a alturas levemente inferiores a la altura del codo (Bex, 1971). Para poder establecer la altura adecuada para la tarea, se debería diseñar un Lugar de trabajo ajustable. La Tabla 5 resume las recomendaciones referentes a las alturas de las superficies de trabajo para las tareas sentadas.

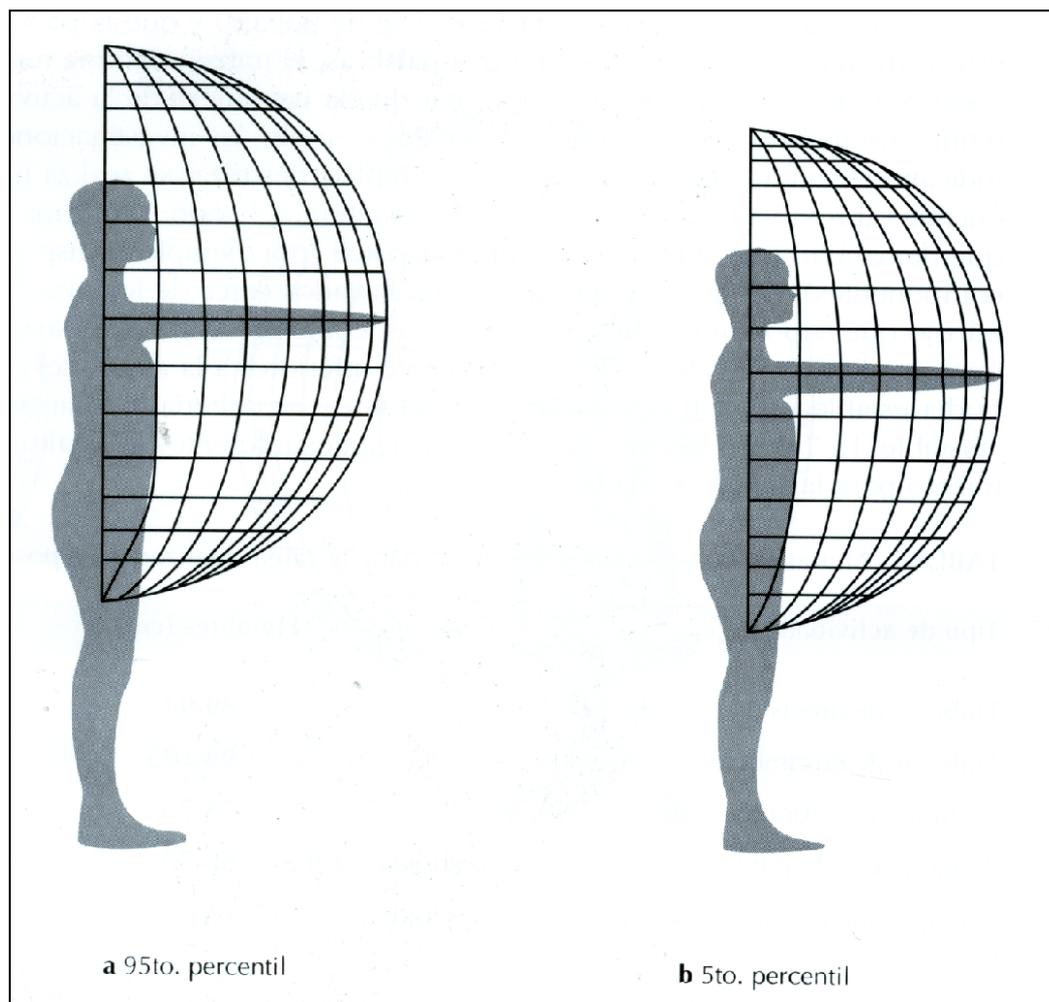
Tipo de actividad	Hombres (cm)	Mujeres (cm)
Trabajos de precisión (Ayoub, 1973)	89-94	82-87
Trabajos de ensamblado tino (Ayoub, 1973)	99-105	89-95
Lectura y escritura (Grandjean, 1988)	74-78	70-74
Rango ajustable para mesas de escribir (Grandjean, 1988)	60-70	60-70
Trabajos que requieren fuerza (Grandjean, 1988)	68	60

TABLA 5. Alturas de las superficies de trabajo para las tareas realizadas en posición sentado

Es importante mencionar que la altura de trabajo, y la altura de la superficie de trabajo (mesa), no son las mismas. La altura de la superficie de trabajo es meramente la altura del banco o de la mesa, mientras que la altura de trabajo es la altura real a la cual se realiza la tarea. En muchos casos, la altura de la superficie y la altura de trabajo pueden ser las mismas (por ejemplo, en la escritura). En el caso de una estación de computadora, la altura de la línea del medio del teclado es la altura promedio de trabajo y, por lo tanto, diferente de la altura de la mesa sobre la cual se apoya el teclado. En los lugares de trabajo industrial, distintas guías y accesorios son utilizados para sostener las piezas de trabajo y, por lo tanto, la altura de trabajo es diferente a la altura del banco.

### 3.2 Diseño del lugar de trabajo para la persona parada

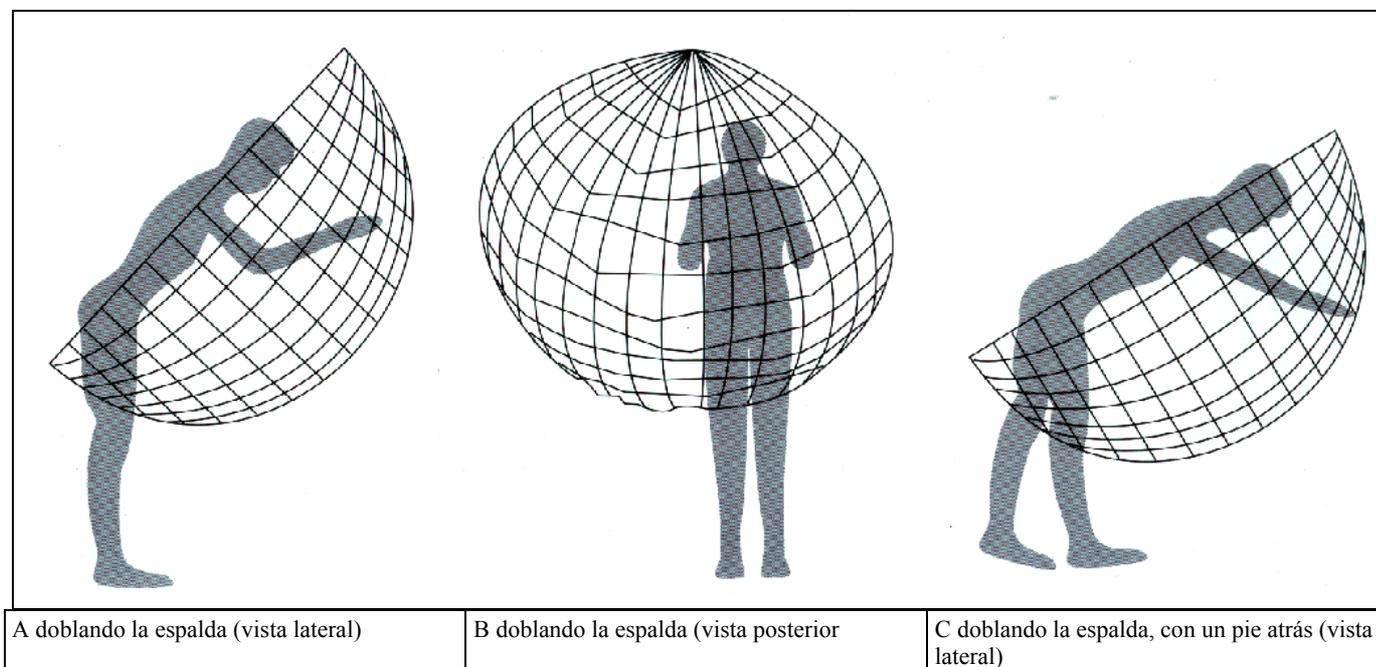
El diseño del lugar de trabajo para la persona parada sigue similares principios de diseño que los aplicados al trabajo sentado. El espacio tri-dimensional de trabajo para el operador parado está determinado por el alcance funcional del brazo. Las figuras 3a y 3b muestran la superficie normal de alcance para una mujer en el 5to. y 95to. percentil (E.E.U.U.). Dentro de este espacio laboral, una persona es capaz de llegar a cualquier punto sin estirarse, inclinarse, o doblarse. Si una persona parada tiene libertad para cambiar de posturas corporales, el alcance normal puede fácilmente aumentarse estirando, inclinando, o doblando el cuerpo (Figuras 4a, 4b, y 4c).



a 95to. percentil

b 5to. percentil

FIGURAS 3a y 3b. Superficie normal de alcance de una persona parada (Mujer, E.E.U.U.).



A doblando la espalda (vista lateral)

B doblando la espalda (vista posterior)

C doblando la espalda, con un pie atrás (vista lateral)

FIGURA 4a, 4b, Y 4c. Expansión del alcance parado (Mujer, E.E.U.U., 5to. Percentil)

El alcance de parado, como el espacio de trabajo sentado, está influenciado por características personales (edad, sexo, grupo étnico, discapacidad, etc.), la naturaleza de la tarea, los requerimientos de vestimenta, y las limitaciones físicas. La altura de la superficie de trabajo es un factor importante para determinar el grado de alcance hacia adelante, que se puede lograr inclinándose. A medida que aumenta la altura de la superficie de trabajo, la inclinación hacia adelante se ve restringida y, por lo tanto, disminuye el alcance hacia adelante. La relación entre altura de la superficie de trabajo y la inclinación hacia adelante ha sido utilizada para decidir la distancia de seguridad (Thompson, 1989) para mantener a las personas lejos de los puntos de peligro, tales como partes rotatorias de las maquinarias, robots, y animales salvajes en el zoológico. El valor de la distancia «lejos del alcance» debería estar determinado por la persona en el percentil 99no. de la población.

### 3.2.1 Altura laboral para la persona parada

La altura óptima de trabajo para la tarea de parado está influenciada por la naturaleza del trabajo y las preferencias personales. Como regla general, la altura de trabajo debería fijarse cerca del nivel del codo. Pero, de acuerdo al tipo de tarea realizada, la altura real puede ser por encima o por debajo de la altura del codo. Para un ensamblado liviano, para empaques y tareas de escritura, la altura óptima será aproximadamente 10 a 15 cm por encima de la altura del codo. Para tareas que requieran fuerza, es recomendable una altura 10 a 20 cm por debajo del codo. Para poder acomodar la elección individual de la altura de trabajo, se debería proveer de una mesa ajustable.

### 3.3 Arreglos dentro del área horizontal de trabajo

En el banco de trabajo, los materiales, las herramientas, las piezas de trabajo, y otros elementos necesarios para la tarea, se deben mantener dentro de las zonas de alcance conveniente. Dentro de las zonas de alcance conveniente, en el plano horizontal, se pueden distinguir dos tipos de áreas de trabajo:

- Área máxima de trabajo (AMT)
- Área normal de trabajo (ANT)

El área máxima de trabajo es la intersección entre la zona de alcance conveniente y la superficie horizontal, tal como la mesa o el banco. El área máxima de trabajo está formada por el barrido del brazo, totalmente extendido y rotando alrededor del hombro.

El área normal de trabajo está formada por el movimiento cómodo de barrido de la extremidad superior, alrededor de la articulación del hombro, con el codo flexionado a 90 %. En la Figura 5 muestra estas dos áreas.

El área normal de trabajo (ANT) permite que el movimiento de la mano se realice en una zona conveniente, con gasto calórico normal. Ordenar todos los materiales, herramientas, y equipamiento dentro del área normal permite una mayor productividad a través de la maximización de la eficiencia a un mínimo costo humano. Farley (1955) determinó el ANT, considerando el codo fijo durante el barrido realizado por el antebrazo extendido. Se suponía que la parte superior del brazo permanecía al costado del cuerpo en una posición natural. Squires (1956) sostenía que durante el movimiento de barrido el codo no permanece fijo sino que se mueve fuera y hacia afuera del cuerpo. Por lo tanto, el camino desarrollado por la mano sería un elongado epicicloide.

Das y Behara (1989) han extendido el concepto de Squires para determinar el área normal de trabajo más allá de la mediana del cuerpo. Ellos han sugerido que el movimiento del codo hacia el cuerpo debería ser considerado para determinar el ANT, más allá de la mediana del cuerpo, ya que el vector antebrazo-mano se mueve hacia la izquierda pasada la mediana.

No está de más decir que el trabajo debería mantenerse dentro del área normal de trabajo ya que hay algunas posiciones que imponen menos «stress» sobre el cuerpo que otras. Las disposiciones concretas dentro del ANT dependerán de la actividad llevada a cabo, y deberían determinarse a través de la experiencia. Además, antes de finalizar el ordenamiento del lugar de trabajo se deberían aplicar los siguientes principios (Sanders & McCormick, 1992):

- **Principio de importancia** - Los elementos más importantes deberían estar en los lugares más convenientes o accesibles.
- **Principio de frecuencia de uso** - Los elementos más frecuentemente utilizados deberían estar en los lugares más convenientes o accesibles.
- **Principio de función** - Los elementos concernientes a funciones o acciones estrechamente relacionadas, deberían agruparse juntos.
- **Principio de secuencia de uso** - Los elementos que comúnmente se utilizan en secuencia deberían agruparse juntos, y ordenarse de manera que sean compatibles con esa secuencia.

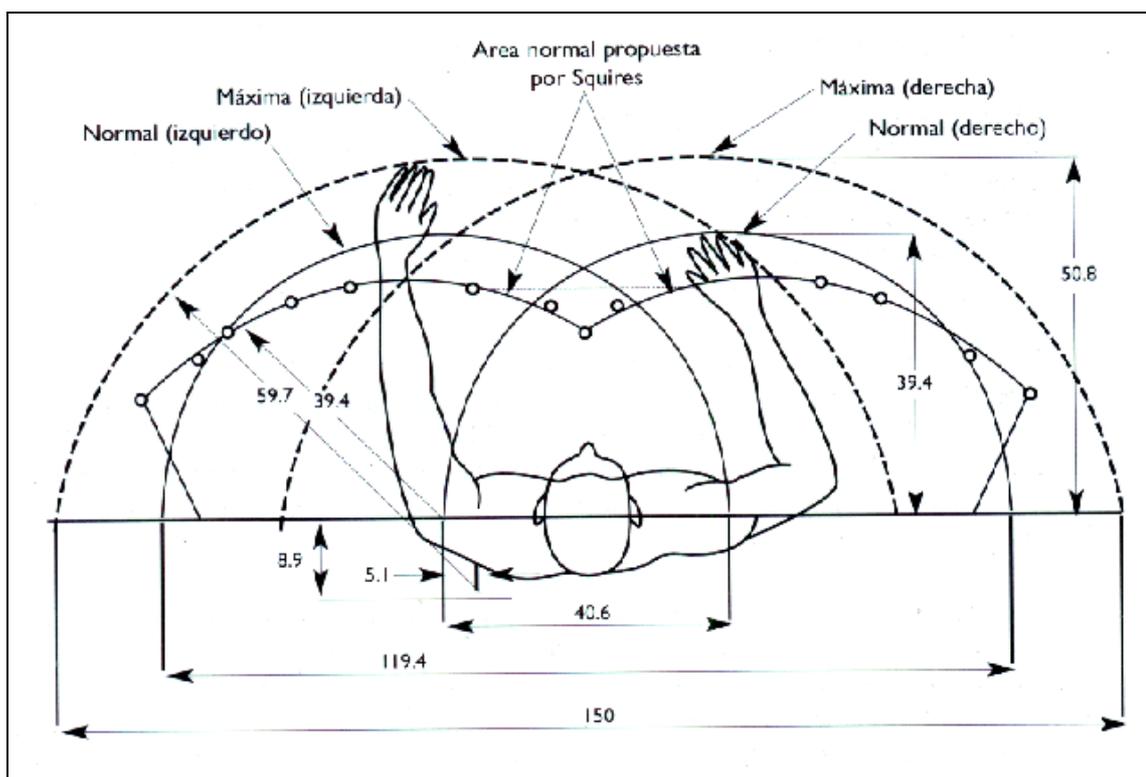


FIGURA 5. Áreas de trabajo normal y máxima en el plano horizontal. (Adaptado de Sanders & McCormick, 1992, Fig. 13-11, p. 342).

#### 4. BASES COMPUTADAS DE DATOS ANTROPOMETRICOS

A medida que las personas toman más conciencia de que la salud laboral y los problemas de seguridad, en los lugares de trabajo, no son sólo actos de Dios sino que se claman por deficiencias en los diseños, los fabricantes y los diseñadores industriales están siendo obligados a utilizar la ergonomía en los procesos de diseño. Esto asegurará que el elemento humano sea adecuadamente considerado en el diseño de productos y lugares de trabajo. La fácil disponibilidad de tecnología computada, de bajo costo y altamente eficiente, ahora hace posible que los diseñadores utilicen la información ergonómica en las primeras etapas del proceso de diseño. Se han desarrollado diversas aplicaciones de diseño ayudadas por la computadora, y algunas están ahora disponibles para los usuarios en general (Tabla 6), las cuales tienen la facilidad de utilizar una «forma humana» para evaluar ergonómicamente un lugar de trabajo o el diseño (de un producto). La forma humana usada en estas aplicaciones de «software» está basada, por lo general, en las bases de datos antropométricos actualmente disponibles para distintas poblaciones, y pueden manipularse para seleccionar distintas formas,

tamaños, y posturas. La forma humana puede ser fácilmente movida alrededor de un lugar de trabajo para evaluar el alcance y los requerimientos de visión, o puede manipularse para evaluar un producto. De ser necesario, pueden realizarse cambios en el diseño y se puede llevar a cabo rápidamente una nueva evaluación ergonómica. El proceso puede repetirse hasta que se logre el resultado deseado.

Como se discutió anteriormente, todos los productos, procesos, y diseños de los lugares de trabajo deben ser evaluados ergonómicamente antes de proceder a la etapa de elaboración del prototipo. Por lo tanto, el uso de software para el diseño reduce la necesidad de pruebas con modelos frecuentemente costosas. Las pruebas experimentales con modelos pueden llevarse a cabo para decidir finalmente los parámetros para el diseño del prototipo. El uso de un «software» tiene, además de acelerar el proceso del diseño, distintas ventajas adicionales, tales como menor costo y facilidad de un diseño interactivo. Se está haciendo un rápido progreso en el desarrollo de la versatilidad, flexibilidad, y menor costo. Es de esperar que en unos pocos años, dichos programas se vuelvan accesibles para cualquier persona interesada en utilizarlos.

Software»	Referencia	Comentarios
BOEMAN	Rothwell (1985), Dooley (1982)	Desarrollado por la Corporación Boeing de América, en 1969, para evaluar la disposición de la cabina de mando de un avión.
BUFORD	Rothwell (1985), Dooley (1982)	Desarrollado por Rockwell International, E.E.U.U., para predecir el rango de alcance de un astronauta.
COMBIMAN	McDaniel (1976)	Desarrollado por la Universidad de Daytona, E.E.U.U, en 1973. Este modelo humano biomecánico computado ha sido utilizado en el diseño y evaluación de los tripulantes de aviones para la visión y el alcance de la mano.
CYBERMAN	Rothwell (1985), Dooley (1982)	Desarrollado por la Corporación Chrysler para evaluar los interiores <sup>1</sup> de los automóviles.
FRANKY	Elías y Lux (1986)	" Desarrollado por Gesellschaft für Ingenieur-Technik (GIT) mbH, Alemania, para el diseño y evaluación de sistema de maquinarias par seres humanos.
MANNEQUIN	HUMANCAD (1991)	Este es un programa (le diseño y dibujo ergonómico basado en PC que dibuja personas (hombres/mujeres). Brinda diferentes vistas. La persona puede caminar, inclinarse, ver, alcanzar, y tomar objetos. También computa los torques de las articulaciones. Disponibles para los usuarios en general.
OSCAR	Lippmann (1986)	Un sistema basado en PC para evaluar lugares de trabajo simples
SAMMIE	Porter y Freer (1987)	Sistema para la Ayuda en la Evaluación de la Interacción entre el Hombre y la Máquina (SAMMIE). Es utilizado para la evaluación ergonómica de distintos lugares de trabajo y productos. Se pueden desarrollar modelos altamente complejos y realistas. Está disponible para los usuarios en general.
ERGOSHAPE	Launis y Lehtela (1990)	Desarrollado en el Instituto de Salud Ocupacional, Finlandia, para aportar el conocimiento ergonómico para el diseño de los lugares de trabajo.

**TABLA 6.** Lista din «softwares» para el diseño con ayuda computada, para la evaluación ergonómica.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ayoub, M. M. (1973).

Workplace design and posture.  
**Human Factors**, **15**, 265-268.

Bex, F.H.A (1971).

Desk heights.  
**Applied Ergonomics**, **2**, 138-140.

Bullock, M. I. (1974).

Determination of functional arm reach boundaries for operation of manual controls.

**Ergonomics**, **17**, 375-388.

Das, B., & Behara, D. (1989).

A new model for the determination of the horizontal normal working area.  
In A. Mital (Ed.), **Advances in industrial ergonomics and safety-1**. (pp. 195-202).  
London: Taylor & Francis.

Dooley, M. (1982).

Anthropometric modelling programmes - a survey.  
**IEEE Computer Graphics and Applications**, **2**, 17-25.

- Eastman Kodak (1983).  
**Ergonomic design for people at work: Vol. I** (pp. 12-77).  
New York: Van Nostrand Reinhold.
- Elias, H.J., & Lux, C. (1986).  
Gestaltung ergonomisch optimierter Arbeitsphtze and Produkte mit Franky and CAD.  
[The design of ergonomically optimised workstations and products using Franky and CAD].  
**REFA Nachrichten**, **3**, 5-12.
- Farley, R. (1955).  
Some principles of methods and motion study as used in development work.  
**General Motors Engineering Journal**, **2**, 20-25.
- Garg, A., Bakken, G. M., & Saxena, U. (1982).  
Effect of seat belts and harnesses on functional arm reach.  
**Human Factors**, **24**, 367-372.
- Gordon, C.C., Churchill, T, Clauser, C. E., Bradtmiller, B., McConville, J.T., Tebbets, I., & Walker, R. (1989).  
**1988 Anthropometric Survey of US Army personnel: summary statistics interim report** (Technical Report NATICK/TR-89-027).  
Natick, MA: USA Army Natick Research, Development and Engineering Centre.
- Grandjean, E. (1988).  
**Fitting the task to the man: A textbook of occupational ergonomics** (4th ed.).  
London: Taylor & Francis.
- HUMANCAD (1991).  
**Mannequin user guide**.  
Melville, NY: HUMANCAD, Biomechanics Corporation of America.
- Kantowitz, B.H., & Sorkin, R.D. (1983).  
**Human factors: Understanding people-system relationships** (p. 470).  
New York: John Wiley & Sons.
- Kroemer, K., Kroemer, H., & Kroemer-Elbert, K. (1994).  
**Ergonomics: how to design for ease and efficiency** (pp. 13-93).  
Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kroemer, K., Kroemer, H., & Kroemer-Elbert, K. (1990).  
**Engineering physiology**. (2nd ed., pp. 1-36).  
Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Launis, M., & Lehtela, J. (1990).  
Ergonomic design of workplaces with a two dimensional micro-CAD system.  
In C. M. Haslegrave, J. Wilson, E. Corlett and I. Manenica, (Eds.) **Work design in practice** (pp. 1 10-1 18). London: Taylor and Francis.
- Lippmann, R. (1986).  
Arbeitsplatzgestaltung mit Hilfe von CAD [Workstation design with help from CAD].  
**REFA Nachrichten**, **3**, 13-16.
- McDaniel, J.W. (1976).  
Computerised biomechanical man-model.  
**Proceedings of the 6th Congress of the International Ergonomics Association and the 20th meeting of the Human Factors Society**, pp. 384-389.
- NASA (1978).  
**Anthropometric source book (Vol. I-III)**.  
Publication 1024, Houston, TX: LBJ Space Centre, NASA (NTIS, Springfield, VA 22161, Order 79, 11734).
- Pheasant, S. (1986).  
**Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design**.  
London: Taylor and Francis.
- Porter, J. M., & Freer, M T (1987).  
**The SAMMIE system information booklet** (5th ed.).  
SAMMIE CAD Ltd: Loughborough.
- Roebuck, J., Kroemer, K., & W Thompson (1975).  
**Engineering anthropometric methods**.  
New York: J. Wiley.

Rothwell, P. L. (1985).

Use of man-modelling CAD systems by the ergonomists.

In P. Johnson and S. Cook. (Eds.). **People and computers: designing the interface** (pp. 199-208). Cambridge: Cambridge University Press.

Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1992).

**Human factors in engineering and design** (7th ed.).

New York: McGraw-Hill.

Squires, P. (1956).

**The shape of the normal work area.**

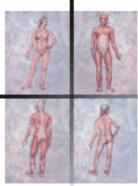
(Report No. 275). New London, Connecticut: Navy Department, Bureau of Medicine and Surgery, Medical Research Laboratories.

Thompson, D.(1989).

Reach distance and safety standards.

**Ergonomics**, **32**, 1061-1076.

# CAPÍTULO 11



## ANTROPOMETRIA Y PERFORMANCE DEPORTIVA

*Kevin Norton, Tim Olds, Scott Olive, y Neil Craig*

---

### 1. EL CONCEPTO DE OPTIMIZACION MORFOLOGICA

Con frecuencia nos preguntamos «¿Qué hace que un deportista triunfe?». La respuesta obviamente es multifacética e incluye el énfasis en distintos factores fisiológicos, biomecánicos, y características de destreza dentro de los diferentes deportes. Las dimensiones antropométricas del deportista, que reflejan la forma, proporcionalidad, y composición corporal, son variables que juegan un papel (a veces principal) en la determinación del triunfo en un deporte elegido.

Se debe destacar que para responder a esta pregunta es esencial revisar los datos de los que han tenido los mejores rendimientos (nivel mundial), ya que otras características que contribuyen al triunfo, además de la antropometría (por ejemplo, el nivel de destrezas adquiridas y la aptitud física), tenderán a ser óptimas y similares entre los deportistas de élite. En cierto modo, ésto aísla a un grupo de deportistas que han alcanzado el pico de rendimiento y que tienen similares historias de entrenamiento y atributos fisiológicos. Por lo tanto, si existe un tipo corporal ideal para un deporte en particular, sólo los deportistas con esta forma ideal permanecerán en forma competitiva. Por ello, en los deportes desarrollados, una morfología característica se presenta sola. Esto es particularmente cierto en los niveles profesionales, y aún más para aquellos que sobresalen dentro de este subgrupo competitivo. En el proceso de optimización de las estructuras corporales adecuadas para los deportes habrá siempre un gran número de «presiones de selección» sobre el deportista. Las formas corporales distintivas, observadas hoy dentro de los deportes, han surgido tanto por la selección natural de tipos corporales que han triunfado a lo largo de generaciones consecutivas, como por la adaptación a las demandas de entrenamiento en la generación actual. La culminación de una forma y composición corporal

«final» resulta en lo que denominamos **optimización morfológica**.

Podemos obtener una descripción de las dimensiones físicas de los deportistas a través de los perfiles antropométricos y luego evaluar la importancia relativa de estas dimensiones corporales, comparando las dos cosas. En primer lugar, podemos observar las tendencias centrales (por ejemplo, el valor medio) de la variable antropométrica en los deportistas y comparar ésto con otras poblaciones de referencia, normalmente la población general, pero podría incluir la comparación con otros grupos de deportistas. Este análisis nos ayuda a cuantificar la importancia de las estructuras corporales características, y a sugerir la ventaja funcional para los deportistas en deportes particulares. Cuanto más se asemeja la media del deporte a la media de la población, mayor será el «pool» o reserva potencial de deportistas de la cual elegir.

Sin embargo, también necesitamos considerar la dispersión de "scores" dentro del grupo deportivo en relación a la de la población general. Una forma de poder calcular la dispersión relativa de valores dentro de la muestra es utilizar la variancia (o desvío standard) de valores con respecto al valor medio, dado que realizamos suposiciones sobre la distribución general de "scores". Normalmente, necesitamos trabajar con grandes números para tener la certeza que la variancia en la muestra de nuestros deportistas será similar a la variancia en toda la población deportiva bajo revisión. Las muestras grandes hacen que sea más confiable la comparación entre la variancia de "scores" en la población deportiva y la variancia de la población general. Obtener grandes muestras deportivas no siempre es posible ya que, por definición, incluimos en la muestra solamente a los deportistas de muy alto nivel, y éstos son individuos poco comunes. En general, cuanto menor es la variancia intra-grupo en una población deportiva, más importante es la variable antropométrica en la contribución de una performance exitosa. Una variancia pequeña en el

deporte indica que los deportistas se asemejan entre sí, y sugiere fuertemente que sólo un rango estrecho de tipos corporales tendrá éxito en ese deporte. Aquellos que se desvían de este rango pueden descubrir que es imposible triunfar a nivel mundial.

## 1.1 Cuantificación de las presiones de selección

### 1.1.1 Poblaciones potenciales

Cualquier grupo de deportistas es seleccionado a partir de una población más amplia. Esta población podría ser considerada la «Zona de captación» para ese grupo deportivo. Nosotros denominaremos a esta población más amplia la **población potencial**, para un grupo deportivo específico. El equipo de la Unión Australiana de Rugby, por ejemplo, es seleccionado a partir de la población de ciudadanos Australianos varones. Para ser realistas, la población potencial para el equipo Australiano tiene límites de edad, digamos entre 16 y 40 años (siendo muy generosos). Existen otras limitaciones, más difusas en la población potencial.

Estas limitaciones podrían ser de naturaleza geográfica (en un equipo representativo del país es poco probable que venga alguien fuera de Australia) o socio-económica (el Rugby tradicionalmente ha sido un deporte para la clase media alta). También podría haber limitaciones de interés: sólo ciertos sectores de la población tienen interés en la Unión de Rugby (o para el caso, interés en el deporte o actividad física en general). Tomadas en conjunto, estas limitaciones definen la población potencial.

Está claro que la población potencial es una entidad bastante fluida e indefinida. Es probable que la población potencial para el Rugby aumente dramáticamente, luego del reciente anuncio de una «Super Unión» del Hemisferio Sur acompañada de importantes incentivos económicos. Recientemente, el equipo Australiano de Rugby ha incluido muchos jugadores de origen en Micronesia y Melanesia. Esto es resultado de los atractivos que ofrece el juego en términos de fama y fortuna. Quizás grandes sectores de la población masculina de muchas naciones del sur del Pacífico deberían ahora ser considerados parte de la población potencial para el equipo Australiano de Rugby. La población potencial para los deportes en Norteamérica, por ejemplo, está aumentando rápidamente con una tendencia hacia la «globalización» económica y de los medios. Por ejemplo, la contribución extranjera a los campeonatos masculinos de Atletismo de la NCAA aumentó del

28.1% en 1977-8 al 34.2% en 1985-6 (Bale, 1989, p. 107). La Asociación Nacional de Básquetbol (NBA) (E.E.U.U.) ha evolucionado durante el último siglo para convertirse en el más desarrollado de los deportes profesionales. Ahora, la población potencial para la NBA es prácticamente todo el mundo. Dentro de esta competencia Norteamericana, los jugadores provienen de países tales como Australia, Croacia, Alemania, Lituania, Holanda, Nigeria, Rumania, Serbia, Sudán, Venezuela, y Zaire (por nombrar algunos). Muchos de los jugadores más altos provienen de otros países en donde han sido selectivamente elegidos.

Las variables antropométricas están distribuidas en cierta forma en estas poblaciones potenciales. Muchas variables antropométricas (tales como la altura y el peso) tienen una distribución normal, o cerca de lo normal. Por lo tanto, pueden ser caracterizadas por una media (que llamaremos  $\mu_{\text{pobl}}$ ) y por un desvío standard ( $\sigma_{\text{pobl}}$ ). Dentro de un subgrupo deportivo, también hay una distribución característica de las variables antropométricas, que podrían ser caracterizadas por una media ( $\mu_{\text{dep}}$ ) y un desvío standard ( $\sigma_{\text{dep}}$ ). El siguiente análisis de la antropometría deportiva se basará en una comparación entre los parámetros de esta población y de los subgrupos.

### 1.1.2 Presiones de selección

La mayoría de los deportes son selectivos, competitivos, y jerárquicos; sólo los «más aptos» llegan al nivel más alto de participación. No podría esperarse que todas las características físicas jueguen un rol en estas presiones de selección. Por ejemplo, el color del cabello, presumiblemente, no sea importante en la selección del equipo Australiano de Rugby. Es de suponer que la distribución del color del cabello en el equipo Australiano sea casi la misma que la distribución en la población general. Sin embargo, otras características físicas son más importantes. Un elevado peso corporal, claramente, es una ventaja en el Rugby. Los individuos con un peso liviano simplemente son dejados fuera del juego, lesionados, o vistos como que carecen de robustez. Podríamos suponer que el peso corporal es una característica altamente selectiva en el Rugby internacional. De hecho, cuando observamos el peso promedio de los jugadores de Rugby, observamos que es considerablemente mayor que el de la población general. El peso medio (+/- DS) del equipo Australiano de 1994 era de 96.0 +/- 11.8 kg (registros UAR, 1994), mientras que el peso medio de los

varones de 18-29 años en Australia (DASET, 1992) es de 76.2 +/- 11.7 kg. El grado en el cual la distribución de valores en la población deportiva difiere de la distribución de valores en la población potencial, es una variable de la fuerza de la presión de selección para tal variable.

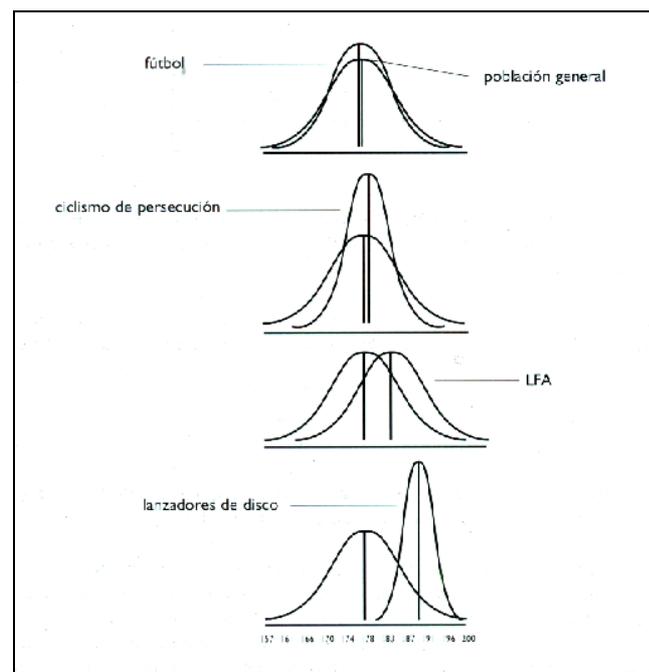
### 1.1.3 La Zona de superposición (ZS)

Nos gustaría poder cuantificar en un único índice el grado (le diferencia entre la distribución de una variable antropométrica en la población potencial y la distribución en un subgrupo deportivo. Esto nos permitiría:

- entender más completamente la importancia relativa de los diferentes índices antropométricos, y formular hipótesis sobre las razones biomecánicas o fisiológicas;
- realizar juicios informados sobre los criterios de identificación de talentos;
- graficar la evolución de las presiones de selección antropométrica con el tiempo, lo cual puede indicar cambios en la población potencial, o en el reglamento, o en la naturaleza del deporte;
- comparar las presiones de selección en subgrupos de la población (tales como hombres vs. mujeres, o equipos de nivel provincial vs. equipos nacionales).

Dos distribuciones pueden diferir entre sí, si la media de una está dislocada en relación a la otra, y/o si la variabilidad de una es marcadamente diferente de la otra. Cuanto más apartadas están las medias, y mayor la disparidad de variancias, menor será la superposición entre las dos poblaciones. El primer gráfico de la Figura 1 muestra la distribución de alturas en la población general (varones Australianos, 18-29 años; DASET, 1992) y la distribución de alturas reportadas de jugadores de Fútbol (Reilly, 1990a; Withers, Craig, Bourdon, & Norton, 1987). Debido a que las medias no son extremadamente diferentes (178.6 vs. 178.3 cm.), y a que el DS de la población deportiva (6.4 cm.) no es tan distinto del DS de la población general (7.1 cm.), hay una superposición considerable. El segundo gráfico muestra la distribución de alturas en la población general y la distribución de alturas reportadas de ciclistas de persecución (Foley, Bird, y White, 1989; Tittel & Wutscherk, 1992; Withers, Craig, y cols., 1987). Aquí, la subpoblación deportiva tiene una altura media similar (179.3 cm.) a la de la población general, pero un DS mucho menor (3.5 cm.). Por lo tanto la superposición es algo menor. El tercer

gráfico muestra la distribución de las alturas de jugadores de Fútbol Australiano (LFA) (registros LFA, 1994) quienes, con una media de 185.4 cm., son mucho más altos que la población general. Sin embargo, los DS de las dos poblaciones son similares (7.1 cm. para la población general y 6.9 cm. para los jugadores de la LFA). Finalmente, el cuarto gráfico muestra la altura de lanzadores de disco (Stepnicka, 1986). La altura media (189.9 cm.) es mucho mayor que la de la población general, y el DS (2.5 cm.) es mucho menor. Por lo tanto, la Zona de Superposición es muy pequeña.



**FIGURA 1.** Distribuciones para la altura de las poblaciones, potencial y deportiva. Los deportes son para deportistas varones, y fueron derivados tal como se describe en el texto.

A esta coincidencia la llamaremos **Zona de Superposición (ZS)**. Se puede cuantificar de la siguiente manera. La ecuación de la curva normal que describe la distribución de probabilidad de alguna variable antropométrica  $V$ , en un subgrupo deportivo, con una media y un desvío standard  $\sigma_{dep}$  está dada por:

$$P_{dep}(V = X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{dep}} \exp \left[ - \left( \frac{X - \mu_{dep}}{\frac{\sigma_{dep}}{2}} \right)^2 \right]$$

De manera similar, la ecuación de la curva normal que describe la distribución de  $V$  en la población

potencial (con una media  $\mu_{pobl}$  y un desvío standard  $\sigma_{pobl}$ ) es,

$$P_{pob}(V = X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{pobl}} \exp \left[ - \left( \frac{X - \mu_{pobl}}{\frac{\sigma_{pobl}}{2}} \right)^2 \right]$$

La intersección de estas dos curvas puede calcularse por reiteración. Para un amplio rango de valores de la variable X, se calculan  $P_{dep}$  y  $P_{pobl}$ . Donde cambia el signo de la diferencia, las dos calvas se intersectan.

Una vez calculados los puntos de intersección, se pueden convertir en "scores" z, para cualquiera de las distribuciones, utilizando la fórmula familiar para el "score". z: y las áreas apropiadas bajo las curvas pueden calcularse utilizando programas de computación, o por referencia a las tablas standard de estadística.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

En el gráfico superior de la Figura 1, por ejemplo, el primer punto de intersección ocurre cuando X = 170.1 cm. Esto es equivalente a un score z de - 1.28 en la distribución de valores en la población deportiva. El porcentaje de scores que quedan a la

izquierda de este punto en la distribución del deporte es del 10 %. Esta área se intersecta con la distribución de la población general. El score z correspondiente a X = 170.1 cm en la distribución de la población general es - 1.20. El segundo punto de unión ocurre cuando X = 183.9 cm. Esto corresponde a un valor z de + 0.75 en la distribución de la población general. El porcentaje de scores que caen entre  $z = - 1.20$  y  $z = + 0.75$  es aproximadamente del 66 %. El score z correspondiente a X = 183.9 cm en la distribución deportiva es + 0.87. El porcentaje de valores que caen a la derecha de este punto es del 19 %. Esta área se intersecta con la distribución de la población general. Por lo tanto, el valor de ZS es de  $10 + 66 + 19 = 95 \%$ .

Los valores de ZS tienen un rango teórico de 0 (ninguna superposición) a 100 (superposición perfecta). Son específicos solamente para una variable antropométrica, y relacionan una subpoblación deportiva (cuyos parámetros deben ser estimados a partir de una muestra) con una población potencial. En general, la población potencial no es la misma que la población general específica, para la edad y el sexo. Sin embargo, los parámetros de la población general pueden servir como un equivalente operacional. La Tabla 1 muestra los valores de la ZS para la altura, en distintos deportes.

Deporte	Varones			Mujeres		
	Media	DS	ZS	Media	DS	ZS
Población general	178.6	7.10		164.8	8.50	
Básquetbol - centro	214.0	4.10	0.2	189.8	6.40	9.2
Salto en alto	194.7	2.60	8.5	176.2	3.30	28.5
Básquetbol - «forward»	196.6	4.60	11.4	185.0	7.80	21.0
Disco	189.9	2.50	20.2			
Remo P/P	191.9	5.00	26.2	179.2	3.60	20.9
Boxeo P/P	190.2	4.60	31.1			
Voleibol	190.2	9.90	42.1	177.0	6.40	40.6
Gimnasia	169.4	5.40	45.6	157.0	7.40	62.0
Lanzamiento de bala	189.1	7.35	46.7			
Saltos ornamentales	170.9	4.30	47.3	161.2	6.00	75.7
Waterpolo	186.8	6.30	53.9	172.1	5.90	59.2
Kayak	185.3	5.40	58.1			
Natación - velocista	186.4	7.50	59.3	173.9	7.00	55.2
Fútbol Australiano	185.4	6.90	62.7			
Tenis	185.0	6.30	63.0			
Maraton	172.8	5.90	64.9	164.2	4.20	67.1
Básquetbol- defensa	185.4	8.60	65.8	171.9	6.10	60.9
Ciclismo - persecución	179.3	3.50	66.9			

Unión de Rugby	184.9	8.70	68.1			
Remo - P/L	182.7	5.50	72.7	169.3	6.20	73.0
Natación - MD	183.1	8.30	76.3	171.9	5.70	59.2
Hockey sobre césped	175.8	5.10	77.2	166.5	7.50	90.1
Liga de Rugby	181.9	6.21	79.8			
Hockey sobre hielo	179.4	4.93	82.0			
Badminton	181.1	5.70	82.2	165.9	2.60	48.2
Lacrosse	177.6	5.50	86.6	165.2	7.40	93.1
Triatlón	177.2	7.40	92.1			
Fútbol	178.3	6.40	94.8			
Canotaje - slalom	178.8	6.60	96.3	169.1	7.26	77.7
Natación - LD	179.6	8.60	94.8	162.6	4.60	69.1
Cestobol - defensa				174.8	4.50	40.8
Salto en largo				169.9	3.80	54.4
Cestobol - ataque				172.1	6.70	62.1
Patín carrera				165.8	3.80	62.7
Ballet				163.8	4.06	65.4
Pentatlón				169.2	6.00	72.5
Cestobol - centro				165.5	5.00	74.7
Sóftbol				166.9	5.30	75.3

**TABLA 1.** Medias, desvíos standard (DS), y valores de ZS (%), en relación con la población general (DASET, 1992), para las alturas (cm) de deportistas de élite. Para la fuente de datos brutos, ver las Figuras 4 y 5.

*P/P = peso pesado; P/L = peso liviano; MD = media distancia; LD = lar—.] distancia.*

#### 1.1.4 Advertencias

El procedimiento descripto anteriormente no debería ser aplicado sin un adecuado discernimiento y observación crítica. Se deberían considerar algunos puntos importantes.

- El método se aplica solamente a variables distribuidas normalmente. Cuando la distribución no es normal (por ejemplo, los pliegues cutáneos), se deben utilizar otras estrategias. Estas podrían incluir la realización de una transformación de normalización, usando otros tipos de distribución (por ej., «Poisson» o binomial), y graficando las distribuciones habituales.
- Una variable antropométrica podría demostrar una ZS pequeña, sin ser ella misma la causa de presión de selección. Por ejemplo, el peso de los saltadores en alto podría ser mayor que el de la población general, y mostrar solamente una superposición moderada. Sin embargo, esto puede deberse a la covariancia del peso con la altura. Es decir, es la altura la que está siendo seleccionada, mientras que la ZS del peso es meramente una consecuencia. Normalmente, la población potencial nunca puede conocerse verdaderamente. En la mayoría de los casos, los datos de la población general servirán como referencia operacional. Existen, sin embargo, casos especiales en los cuales las poblaciones potenciales pueden ser delimitadas en forma precisa. Un ejemplo, es el equipo de Fútbol de una escuela en la cual el Fútbol es un deporte obligatorio.
- Son importantes los números relativos en las poblaciones deportiva y potencial. Si el «pool» total de personas en un grupo deportivo permanece constante (como sucede frecuentemente, por ej. en equipos deportivos nacionales) mientras aumenta el número en la población potencial, los valores de la ZS podrían ser mayores. En una población de un millón, por ejemplo, 22.800 individuos tienen más de 2 DS por arriba de la media. En una población de dos millones, 22.800 individuos caen más de 2.28 DS por encima de la media. Las poblaciones potenciales pueden expandirse o achicarse a través del tiempo debido a un cambio en los números en la población general, o debido a factores socio-económicos.
- Si bien la ZS describe el rango de posibles valores que podrían encontrarse en la población deportiva, en realidad los deportistas con mayor éxito, con frecuencia, se agrupan alrededor de un estrecho margen. Por ejemplo, a pesar de que un lanzador de disco de 184 cm podría llegar a ser un atleta de élite y representar un país (y estaría incluido en el valor de la ZS, en la Tabla

1), es necesaria una habilidad excepcional en otras áreas para que esta persona sea un campeón internacional.

### 1.1.5 Aplicaciones

#### Diferencias de sexo

La Figura 2 muestra la relación entre los valores de ZS para la altura, en varones y mujeres en los mismos deportes, calculada mediante utilización de la población general como población potencial. En deportes en los cuales la altura es claramente importante (aquellos con valores ZS muy bajos como

el básquetbol y el salto en alto), los valores de la ZS para los varones son en general mucho más bajos que para las mujeres, indicando una mayor selectividad. Esto no necesariamente significa que la altura es más importante en las ramas masculinas de los deportes. Más probablemente, sugiere que la población potencial para los varones es mucho mayor, ya que los juegos masculinos ofrecen mayor recompensa económica y, quizás, porque los hombres están más interesados en el deporte en general. Sorprendentemente, los valores de la ZS para la altura en distintos deportes en los cuales esta variable no es tan crítica, tienden a ser menores en las mujeres.

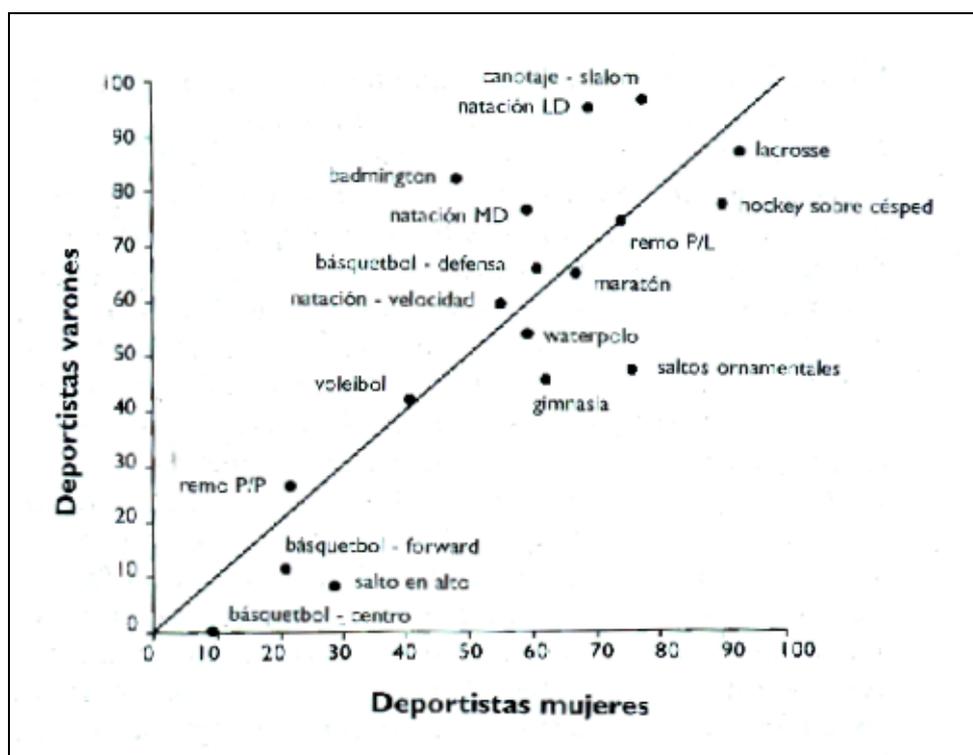


FIGURA 2. Valores de la ZS para la altura (%) en varones, graficados contra los valores de la ZS en las mujeres, en distintos deportes. Ver Figuras 4 y 5 para referencias.

#### Diferencias entre niveles competitivos

Los valores de la ZS pueden utilizarse para comparar la importancia de las variables antropométricas a través de los distintos niveles de competencia del mismo deporte. Steele (1987) brinda datos sobre las alturas de 15 jugadoras de cestobol de nivel de club. La altura promedio es de 164.4 +/- 5.2 cm, arrojando un valor ZS de 76.6 %, con relación a la población

general. Withers, Whittingham y cols. (1987) tienen datos sobre una pequeña muestra (n= 7) de jugadoras de cestobol de nivel provincial y nacional, siendo la

altura media 176.2 +/- 3.9 cm. El correspondiente valor ZS es de 32.1 %. En general, si una variable antropométrica es importante para la performance deportiva, es de esperar que los valores ZS disminuyan a medida que aumenta el nivel de competencia.

#### Diferencias a través del tiempo

Los valores ZS podrían ser utilizados para cuantificar los cambios en la población potencial alcanzando especificaciones antropométricas con el tiempo. Los datos obviamente son más difíciles (de obtener) porque las distribuciones, tanto en las poblaciones deportiva

como potencial, son necesarias a intervalos de tiempo correspondientes. Algunos ejemplos de estos análisis son presentados en la Sección 3 de este capítulo.

### 1.2 Implicancias antropométricas

Cuando se describen los patrones morfológicos característicos dentro de los grupos de deportistas, es importante restringir el análisis de distintas maneras.

- En primer lugar, subyacente al estudio de estos patrones corporales es esencial que, en la medida de lo posible, los antropometristas y los científicos del deporte relacionen las maneras en las cuales las diferencias en las variables corporales afectan el rendimiento, más que simplemente describir el fenotipo. Sin embargo, es sabido que aún entre entrenadores y científicos con experiencia, ésta no es una tarea fácil.
- En segundo término, además de las limitaciones de tiempo, costo, y disponibilidad de deportistas, las variables antropométricas incluidas en cualquier análisis deberían ser aquellos sitios que son fácilmente localizables e informativos. Deberían incluirse distintos sitios que, se sabe, tienen una fuerte influencia genética (por ej., mediciones óseas), así como aquellos sitios sensibles a alteraciones luego del entrenamiento (por ej., pliegues cutáneos y la mayoría de los perímetros).
- En tercer lugar, los resúmenes de datos tomados de la literatura para propósitos comparativos necesitan haber sido recolectados recientemente, a menos que haya una razón específica para hacer lo contrario (ver evolución del tamaño corporal, más adelante). A este respecto, se sugiere que los datos no tengan una antigüedad mayor a 15-20 años. Esto se debe a que las formas corporales de los deportistas seleccionados por especialidad evolucionan con el tiempo, así como bajo la influencia de los cambios en los equipamientos, tecnología, reglamentos, y niveles profesionales. Como telón de fondo de estas alteraciones existe el continuo proceso de evolución del tamaño corporal dentro de la población general. Todos estos factores tienen un impacto sobre los deportes, de forma tal que modifican las presiones de selección para los tipos corporales y alteran la población potencial de deportistas a partir de la cual se realiza la selección. Aún cambios tales como el «status» percibido de un deporte, su prestigio (por ej., su inclusión en el programa Olímpico), y el dinero involucrado en el juego pueden impactar sobre la morfología de los jugadores, incrementando el «pool» de posibles deportistas con una predisposición hacia ese deporte. Otros cambios en el entrenamiento, dieta, y uso de ayudas ergogénicas también sirven para perfeccionar las estructuras corporales aumentando y disminuyendo masas particulares de tejidos, por lo cual estos factores necesitan ser considerados.
- En cuarto lugar, en algunos deportes existe una importante interface entre el atleta y el equipamiento externo. Por ejemplo, el ciclismo es un deporte en el cual la performance está determinada por la interacción entre la potencia del cuerpo y los dispositivos mecánicos. Por lo tanto, en este caso sería importante, en los análisis biomecánicos del rendimiento en ciclismo, considerar tanto la bicicleta como la antropometría de los deportistas.
- Finalmente, en muchos deportes existen distintas posiciones de juego en las cuales los jugadores tienen responsabilidades específicas. En estos eventos, se debe reconocer que las demandas de las tareas determinarán los tipos corporales de aquéllos elegidos para la posición. Algunos ejemplos de este hecho son los arqueros en Fútbol, Lacrosse, Hockey, Waterpolo; centros y defensas en Básquetbol, etc. En deportes de equipo, tales como el Fútbol Australiano, existen equipos especialistas de ataque y defensa, pateadores, y lanzadores (por ej., los cuartos zagueros). Los deportistas de salto en largo, alto, y triple, a menudo, son agrupados juntos para los análisis de la estructura corporal (Carter, Ross, Aubry, Hebbelinck, & Borros, 1982; Withers, Craig, y cols., 1987) a pesar de la naturaleza específica de cada disciplina y de la concomitante optimización morfológica dentro de cada evento. Por lo tanto es aconsejable, cuando el número lo permite, considerar estos y otros grupos de deportistas en forma independiente. Si pudiéramos evaluar regularmente las características anatómicas de estos deportistas, junto con aspectos de la Fisiología y la performance, ésto ayudaría a mejorar la resolución para determinar la relación entre la estructura humana y el rendimiento deportivo.

En síntesis, los fenotipos que son garantía de éxito para los deportistas de hoy podrían ser modificados en otro momento en el tiempo, bajo otra serie de reglas o cuando el equipamiento mejora a partir de los avances tecnológicos. La oportunidad que tenía un atleta de

poder ganar medallas doradas en las Olimpiadas en el lanzamiento de bala y disco, y además obtener medallas de plata tanto en salto en alto como en largo, quedó en el pasado. De hecho, pasó más de un siglo desde que el atleta estadounidense Robert Garrett logró esta hazaña remarcable en los Juegos Olímpicos de Atenas en 1896 (Connors, Dupuis, & Morgan, 1992).

### 1.3 Ejemplos de optimización morfológica

Ejemplos de optimización morfológica pueden encontrarse en todos los deportes, a nivel de élite. Aquí presentamos algunos pocos ejemplos.

#### Jabalina

El primer ejemplo muestra cómo algunos cambios relativamente menores en el diseño del equipo alteran el tipo de atleta que se adapta más a un evento. Los lanzadores de jabalina de nivel mundial están constantemente rompiendo nuevos terrenos, en términos de distancias a las cuales lanzan la jabalina. Esto normalmente incluye pequeños incrementos en las distancias de los records mundiales. Sin embargo, en 1984 Hohn, un lanzador de Alemania del Este, rompió el record mundial por más (le 5.0 mt (con un lanzamiento de 104.7 mt), un enorme aumento. En respuesta a ello (y preservando la seguridad de los espectadores 9, la Federación Internacional de Atletismo Amateur (en 1986) cambió el reglamento con respecto a la aerodinámica de la jabalina. Específicamente, el centro del peso fue trasladado 4 cm hacia la punta y se aumentó el diámetro de la sección del extremo. Esto provocó un mayor ángulo óptimo de liberación o desprendimiento del implemento al arrojarlo. Debido a que el ángulo de liberación y la velocidad de liberación tienen una correlación negativa (Barlett & Best, 1988), esto significó que los lanzadores fueron posicionados en diferentes partes de sus curvas fuerza-velocidad y, por lo tanto, potencia-velocidad. El efecto general, fue una dramática disminución en las performances de los mejores 20 lanzadores mundiales, en un promedio de 6.84 mt (Watman, 1986). Los rendimientos de algunos deportistas se vieron afectados hasta en 14.34 mt (el mejor lanzador con la jabalina anterior), mientras que otros solamente en 1.52 mt. Estas modificaciones han resultado en una serie diferente de características fisiológicas y morfológicas que, por ahora no se adecuan de la mejor manera al diseño de la nueva jabalina y, en el proceso, desplazaron al mejor lanzador.

### Códigos de Fútbol

Si bien la causa y el efecto son difíciles de demostrar, la introducción de reglas de intercambio en los códigos del Fútbol Americano y Australiano más que probablemente han contribuido a la selección de deportistas particularmente grandes, los que no son adecuados para el ejercicio de alta duración e intensidad. Por ejemplo, no es extraño encontrar jugadores de Fútbol Americano, en las posiciones menos móviles (por ej., hombres de línea), que pesan más de 140 kg, de los cuales cerca del 20 % (en promedio) es grasa corporal (Reilly, 1990a). En el Fútbol Australiano, donde la distancia cubierta por muchos jugadores es mayor a 10 km (Reilly, 1990a), los jugadores altos (hasta 210 cm de estatura) no son adecuados para estos esfuerzos de ««endurance»» debido a las dificultades en la movilidad general, junto con las numerosas colisiones corporales que sufren. Previo a los últimos 20 años, a los jugadores de Fútbol Australiano no se les permitía re-ingresar al partido una vez que salieron del mismo. La naturaleza del juego actual permite regulares y considerables períodos de descanso. Estas características, además de la habilidad para intercambiar jugadores descansados por los fatigados en ambos códigos de Fútbol, ahora más que nunca significan que estos deportes no sólo toleran, sino que demandan jugadores de un tamaño corporal extremo.

#### Salto en alto

La técnica del salto en alto fue sometida a un cambio dramático en los últimos años de la década del '60. El cambio estaba relacionado con la forma en la cual el atleta pasaba por encima de la varilla. Antes de las Olimpiadas de 1968, los atletas usaban tanto las técnicas ya sea de corte Oriental, o de origen Occidental, tales como "Barrel Roll" o roldo sobre la brarra, o como "Straddle" o tizereta sobre la barra (Dyson, 1975). Luego de las Olimpiadas de Méjico, donde el mundo vio por primera vez la nueva técnica llamada «flop de Fosbury», la técnica del salto en alto cambió radicalmente. Los métodos anteriores requerían que los deportistas generaran una suficiente rotación del cuerpo (momento angular total) para el pasaje por encima de la varilla. Para obtener mejores resultados, esto significaba estirar la pierna libre lo más pronto posible en el salto, y mantenerla en una posición casi horizontal (con una considerable extensión de la cadera) por encima de la varilla. Esto creaba largas palancas de fuerza y demandaba fuertes músculos extensores por parte del saltador. Por lo tanto, a pesar de las presiones de selección para

minimizar la diferencia de altura entre el centro de gravedad en el despegue y el centro de gravedad por encima de la varilla, es decir, para seleccionar saltadores altos, se ponía un gran énfasis en la fuerza. Por lo tanto, el típico atleta de salto en alto no era extraordinariamente tan alto, aún por las normas de estatura de generaciones anteriores. El salto flop Fosbury» permitió que los deportistas completen el salto con menos movimientos de vuelta en el aire y requería menores demandas en la coordinación, sincronización, y flexibilidad (Dyson, 1975). El resultado fue un cambio bastante drástico en la antropometría de los saltadores de élite. Por ejemplo, Stepnicka (1986) reportó un aumento en la altura media de los saltadores de nivel nacional de más de 10 cm (183.9 cm vs. 194.7 cm), en sólo ocho años, luego de la introducción de la nueva técnica.

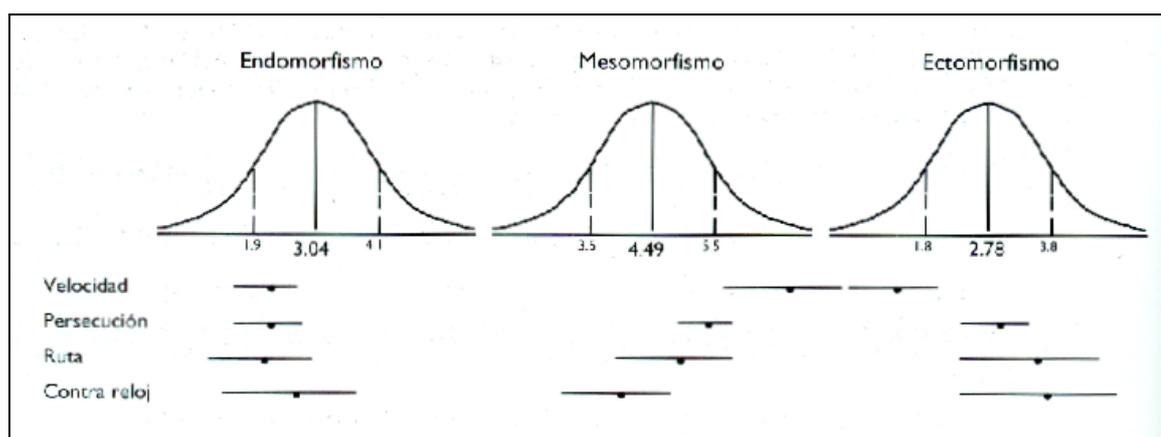
### Cricket

El cricket es un juego en el cual un subgrupo de deportistas ha aumentado fuera de la proporción con otros jugadores en el deporte. Los jugadores rápidos son individuos muy altos, sólo con muy pocas excepciones [193.6 +/- 4.1 cm vs. 179.1 +/- 2.8 cm de otros "lanzadores" no rápidos, en el actual equipo senior de Cricket de Australia, (Pitre Bourdon, Instituto Deportivo del Sur de Australia, comunicación personal, Julio de 1995; AADBase, 1995)1. Este cambio se ha acelerado en los últimos 20 años con mayor énfasis en la velocidad y en el ángulo de liberación o desprendimiento de la pelota. Una más elevada liberación por parte de un jugador más alto es

una ventaja, ya que la pelota se eleva más abruptamente en la cancha de cricket. Sorprendentemente, muchos de los bateadores con gran éxito son de estatura relativamente baja, quizás reforzando la importancia de los reflejos rápidos y el control motor fino.

### Ciclismo

Otro ejemplo de la especificidad de la estructura corporal intra-deporte se observa en el Ciclismo, y se muestra en la Figura 3. En general, los ciclistas de alto nivel son mesoectomórficos, con poca variación en el nivel de adiposidad entre las distintas especialidades (Foley y cols., 1989; McLean & Parker, 1989). Sin embargo, cuando se analizan más detenidamente las distintas disciplinas dentro del Ciclismo, aparecen diferencias distinguibles en la forma y composición corporal. Los ciclistas de —sprint—, como grupo, son significativamente más pesados (principalmente por masa muscular) y más bajos que los otros ciclistas de pista y de ruta (Foley y cols., 1989; McLean & Parker, 1989). Los ciclistas de pruebas contra reloj son los más altos, y tienen piernas más largas en proporción a la altura, en comparación con los otros grupos (Foley y cols., 1989; Miller & Manfredi, 1987). Esto reduce la resistencia aerodinámica de la parte superior del cuerpo, y ello les permite a este grupo de ciclistas que utilicen proporciones de cambios mucho mayores que cualquiera de los otros grupos de ciclistas, probablemente debido a que pueden utilizar brazos de pedal más largos de CRANK (Foley y cols., 1989).



**FIGURA 3.** Calificaciones características del somatotipo (representando las formas corporales) de ciclistas de elite, especialistas en una de cuatro disciplinas diferentes.

Los datos representan las medias +/- DS (Foley y cols., 1989), graficadas en relación a las distribuciones del somatotipo de una población de referencia. El grupo de referencia fue extraído de la Base de Datos Antropométricos de Australia (AADBase, 1995; n= 70 varones, 18-29 años).

## Triatlón

El Triatlón es un deporte relativamente reciente, debido a que será introducido como deporte Olímpico en los Juegos del 2000. Se han estandarizado las distancias para los tres eventos que comprenden el Triatlón Olímpico en 1.5 km de Natación, 40 km de Ciclismo, y 10 km de Pedestrismo o Carrera (O'Toole & Douglas, 1995). Los deportistas de nivel mundial en los eventos individuales tienen formas y tamaños diferentes a los que triunfan en triatlón. Por ej., la Tabla 2 muestra triatletas de élite varones y mujeres, en relación a otros deportistas de alto nivel. Si bien los triatletas son magros y parecidos a los ciclistas de alto rendimiento y nadadores de media distancia (dentro del sexo), por lo general no son tan magros como los corredores de fondo (10 km). Algunos investigadores han concluido que los triatletas olímpicos tienden a

asemejarse a los nadadores más que a los corredores, con respecto a la forma corporal o somatotipo (Leake & Carter, 1991), a pesar de que esta tendencia no surge a partir de los datos presentados en la Tabla 2. La estatura de los triatletas varones es similar a la de los corredores de nivel, mientras que el peso se encuentra entre el de los correctores y los nadadores de élite (Leake & Carter, 1991; O'Toole & Douglas, 1995). Las triatletas mujeres parecen ser similares tanto a las ciclistas como a las corredoras, pero son mucho más pequeñas que las nadadoras. Estos datos indican que la combinación de requisitos en un Triatlón es la selección de deportistas con proporciones corporales que difieren considerablemente de aquellos deportistas que triunfan en los eventos deportivos individuales que integran el Triatlón.

	Varones				Mujeres			
	Altura (cm)		Peso (kg)	% GC	Altura (cm)		Peso (kg)	% GC
Triatletas	176.5 +/-	7.6	69.4+/-7.2	7-10	167.2	+/- 4.5	57.7 +/- 6.5	13-18
Nadadores (MD)	183.1	+/- 8.3	74.3 +/- 9.2	7-10	171.9	+/- 5.7	63.5 +/- 6.1	16-19
Ciclistas (contra reloj)	186.3+/-	7.3	76.0+/- 6.9	6-9	165.0	+/- 1.8	55.0+/- 2.1	12-15
Corredores (10 km)	177.9 +/-	3.6	65.0+/- 7.1	6-8	165.4	+/- 5.3	54.1 +/-5.4	12-14

TABLA 2. Características físicas de triatletas de nivel mundial y de deportistas que se especializan en las disciplinas individuales que comprenden el Triatlón. Datos extraídos de AADBase, 1995; Burke, Faria, & White, 1990; Ford, 1984; Foley y cols., 1989; Leake & Carter, 1991; Mazza, Ackland, Bach, & Cosolito, 1994; O'Toole & Douglas, 1995; Withers, Craig y cols., 1987; Withers, Whittingham, y cols., 1987. MD = nadadores de media distancia (200-800 mt).

## 2. PROPORCIONALIDAD, FORMA CORPORAL, Y PERFORMANCE

En este capítulo hemos apuntado a seis atributos morfológicos a través de una amplia variedad de deportes. Estas características son:

- estatura
- peso corporal
- cociente estatura sentado/estatura
- cociente longitud extremidad superior/estatura
- índice braquial (definido como la proporción cociente entre la longitud del antebrazo y la longitud de la parte superior del brazo)
- nivel de adiposidad corporal, utilizando la sumatoria de pliegues cutáneos

Estas variables antropométricas han sido seleccionadas por distintas razones. Son variables relativamente comunes en los perfiles

antropométricos, se dispone de datos considerables en la literatura con deportistas de alto rendimiento, y son variables relativamente groseras, lo cual facilita relacionar las estructuras con ventajas fisiológicas o biomecánicas. Las proporciones corporales serán tratadas individualmente, y se discute sobre las presiones de selección relacionándolas con su posible rol funcional en distintos deportes. Cada figura que muestra el rango de valores medios presenta, debajo de ella, las referencias a partir de las cuales se obtuvieron los datos. En muchos casos fue posible calcular ya sea

las medias simples de peso o, cuando se reportaban los DS en los trabajos originales, la distribución combinada de la muestra (media +/- DS) utilizando técnicas descritas por Pheasant (1988). Hemos restringido los datos resumidos, solo a datos correspondientes a deportistas de nivel de Juegos Olímpicos, Campeonatos del Mundo, y nivel nacional.

En algunos casos, también se ha utilizado una combinación de deportistas de nivel nacional y provincial. Si bien esta última inclusión quizás está «diluyendo» las muestras, en esta etapa de base del proceso descriptivo es importante efectuar un modelo de trabajo de optimización morfológica a través de un extenso rango de deportes. Sin embargo, se debería tener en cuenta que:

- a veces existe una considerable variación dentro del deporte para una variable antropométrica determinada
- la ubicación absoluta en los gráficos de un deporte puede cambiar considerablemente con respecto a otro deporte, dados números más grandes y la incorporación estricta de deportistas de clase mundial. Por lo tanto, no se pretende que las cifras y los datos contenidos en ellos sean definitivos o prescriptivos, ni deberían ser utilizados exclusivamente (o aún necesariamente) para la identificación de talentos en los niños en edad de crecimiento, ya que muchas proporciones cambian a diferentes niveles y momentos dentro de la población.

## 2.1 Estatura

Si bien el tamaño y la forma corporal características son aparentes entre los diferentes deportes y en las posiciones específicas dentro de los mismos, existen muchas disciplinas en las cuales la altura en sí misma es una clave determinante del éxito. En general, la estatura entre los deportistas de alto rendimiento es mayor que la de las poblaciones no deportivas, si bien las Figuras 4 y 5 muestran el rango de altura para deportistas varones y mujeres en distintos deportes. A primera vista, es obvio que la mayoría de los deportes presentados están por encima de las normas de la población, para su respectivo sexo.

Las Figuras 4 y 5 muestran extremos en altura observados tanto en hombres como en mujeres, en deportes tales como Salto en Alto, Voleibol y Basquetbol, y relativa pequeñez en Gimnasia, Saltos Ornamentales, y Patinaje Artístico. Sin embargo, existen muchos otros deportes en los cuales los deportistas no caen en los extremos pero, sin embargo, se ha optimizado la altura. Deportes tales como el Ciclismo de persecución en varones y el Patín Carrera en mujeres son dos ejemplos en los cuales existe una dispersión relativamente pequeña de valores con respecto a la media.

Existe una cantidad considerable de datos que respaldan el hecho de que la altura es crítica para el

triunfo en muchos deportes. Khosla & McBroom (1988) revisaron los datos de 824 finalistas mujeres en 47 eventos diferentes en las Olimpiadas de 1972 y 1976. De estas finalistas, observaron que el 23.3 % medían más de 175 cm. En la población general (se utilizó la población de E.E.U.U. como referencia), solamente el 2.4 % medía más de 175 cm. Las finalistas también fueron comparadas con el número total de mujeres en el «pool» potencial de deportistas. Este análisis indicó que una mujer tiene 191 veces más probabilidades de llegar a una final olímpica si midiera > 181 cm que si midiera < 151 cm (Khosla & McBroom, 1988). En un estudio anterior, Khosla (1986) sostuvo que debido a que la altura es tan importante para el triunfo a nivel Olímpico, deberían clasificarse algunos eventos en base a la estatura. Una de las razones era aumentar la «equidad» de competición entre las naciones de distintas alturas medias. Evidencias en respaldo de este pedido incluía datos sobre las tallas de los ganadores de medallas de oro en las Olimpiadas de 1960 y 1964. El autor mostró que los deportistas de E.E.U.U. ganaron 14 medallas doradas en eventos individuales en competición «abierta» (Boxeo peso pesado, Atletismo, Lanzamientos, Natación), en comparación, con atletas japoneses que ganaron 11 medallas de oro en eventos individuales, 10 de las cuales fueron en competencia «cerrada» (Boxeo, Lucha Libre, Judo, Levantamiento de Pesas, donde hay categorías por peso) y las otras en Gimnasia.

La elevada altura así como la baja talla relativa brindan ventajas en muchos deportes, presentándose a continuación varios ejemplos.

### Natación

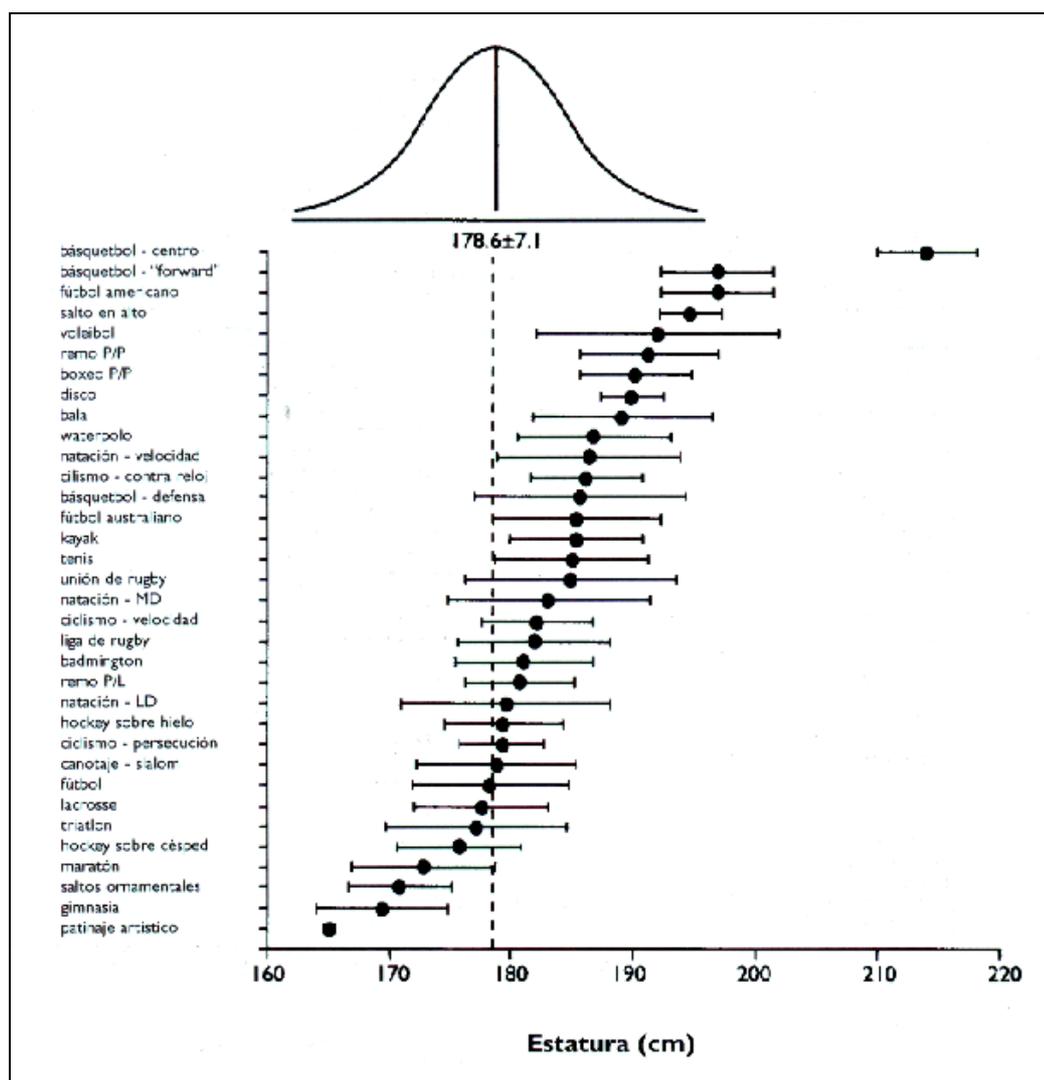
En Natación, ser alto ayuda en la partida, en el empuje de la patada en las vueltas y, obviamente en la línea de llegada. Las extremidades y el torso con forma estilizada reducirán la resistencia de fricción acuática. También se ha observado que los nadadores más altos necesitan menos potencia que los más bajos para cubrir una distancia determinada (Reilly, 1990h). Debido a que una proporción relativamente elevada en una carrera de «sprint» supone la partida, la vuelta, y el estiramiento final, ésto se ve reflejado en el tamaño de los nadadores velocistas (tanto en espalda como en estilo libre), en comparación con los nadadores de distancias más largas. Durante el Campeonato Mundial de 1990, los velocistas varones y mujeres (50-100 mt) registraron una altura media de 186.4 +/- 7.5 y 173.9 +/- 7.0 cm; y los nadadores de fondo (25 km), de 179.6 +/- 8.6 y 162.6 +/- 4.6 cm,

respectivamente (Mazza y cols., 1994). Además, cuando 18 nadadores varones «top» que estuvieron posicionados entre los 12 mejores tiempos, en carreras de velocidad, fueron comparados con los 40 que ocuparon de 13ra.. posición para atrás, se observó que tenían una altura promedio de 188.9 +/- 7.9 vs. 184.3 +/- 6.6 cm (p= 0.02). Se observaron patrones similares en distintas distancias y estilos de nado, tanto en varones como en mujeres (Mazza y cols., 1994).

para el servicio, la volea, y para llegar a la pelota. En consecuencia, los tenistas profesionales, tanto varones como mujeres, cada vez son más altos. Los datos de los últimos 20 años reportan un rango de altura promedio en los varones desde 181.5 cm para tenistas checos de alto nivel, 180 cm para jugadores norteamericanos, hasta 183 cm para los sudafricanos (Reilly, 1990a). Datos actuales de tenistas profesionales varones de Australia (n = 7) indican una altura promedio de 186 +/- 4.1 cm

**Tenis**

En los deportes con raqueta, la estatura es importante



**FIGURA 4.** Gráfico de las alturas medias (+/- DS), en deportistas varones en distintos deportes, en relación a la población de referencia compuesta por no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; AFL Records, 1994; ATP Tour, 1995; Burke & Read, 1987; Carlson y cols., 1994; Carter y cols., 1982; Claessens y cols., 1991; Cox, Miles, Verde, & Rhodes, 1995; Craig, 1984; DASET, 1992; Davis, Brewer, & Atkin, 1992; Faulkner y cols., 1989; Foley y cols., 1989; Fox, 1979-1993; Hagerman, Hagerman, & Meckelson, 1979; Hahn & Bourdon, 1995; Jenkins, 1995; Katch & Katch, 1984; Mazza y cols., 1994; Mikkelsen, 1979; Nicholas & Baker, 1995; Niinimaa y cols., 1979; O'Toole & Douglas, 1995; Parr y cols., 1978; Soares, De Castro Mendes, Neto, & Matsudo, 1986; Stepnicka, 1986; Wilmore & Haskell, 1972; Withers, Craig y cols., 1987.

(AADBase, 1995). La guía de la ATP de 1995 enumera los 100 jugadores varones «top» y sus características físicas. La estatura promedio de estos jugadores es de 185 +/- 6.0 cm, con un peso de 76.1 +/- 6.0 kg. Estos datos colocan a los jugadores de tenis cerca de 1 DS por sobre la población general con respecto a la altura, y prácticamente coinciden con la población general en cuanto al peso. Los estudios con jugadoras profesionales han observado una estatura promedio entre 164 y 167 cm (Reilly, 1990c). Los datos actuales de jugadoras profesionales australianas (n= 5) indican una altura promedio de 171.3 +/- 6.2 cm y un peso de 60.5 +/- 3.0 kg (AADBase, 1995). Por lo tanto, los datos australianos más recientes

indican que las mujeres se desvían de la población general en cuanto a la altura casi lo mismo que los hombres, aunque tienden a ser más livianas que las mujeres no deportistas. Los cambios en el diseño del equipo y las modificaciones al reglamento contribuyeron a esta evolución. Los cambios incluyen raquetas modernas que tiene mayor elasticidad en el encordado, mayor "superficie de impacto" y que son significativamente más livianas que las de antes (Reilly, 1990c). Debido a que las raquetas son más livianas, la velocidad de impacto es mucho mayor, y por lo tanto, mayor la energía cinética impartida a la pelota, poniendo considerablemente más énfasis en el servicio del juego.

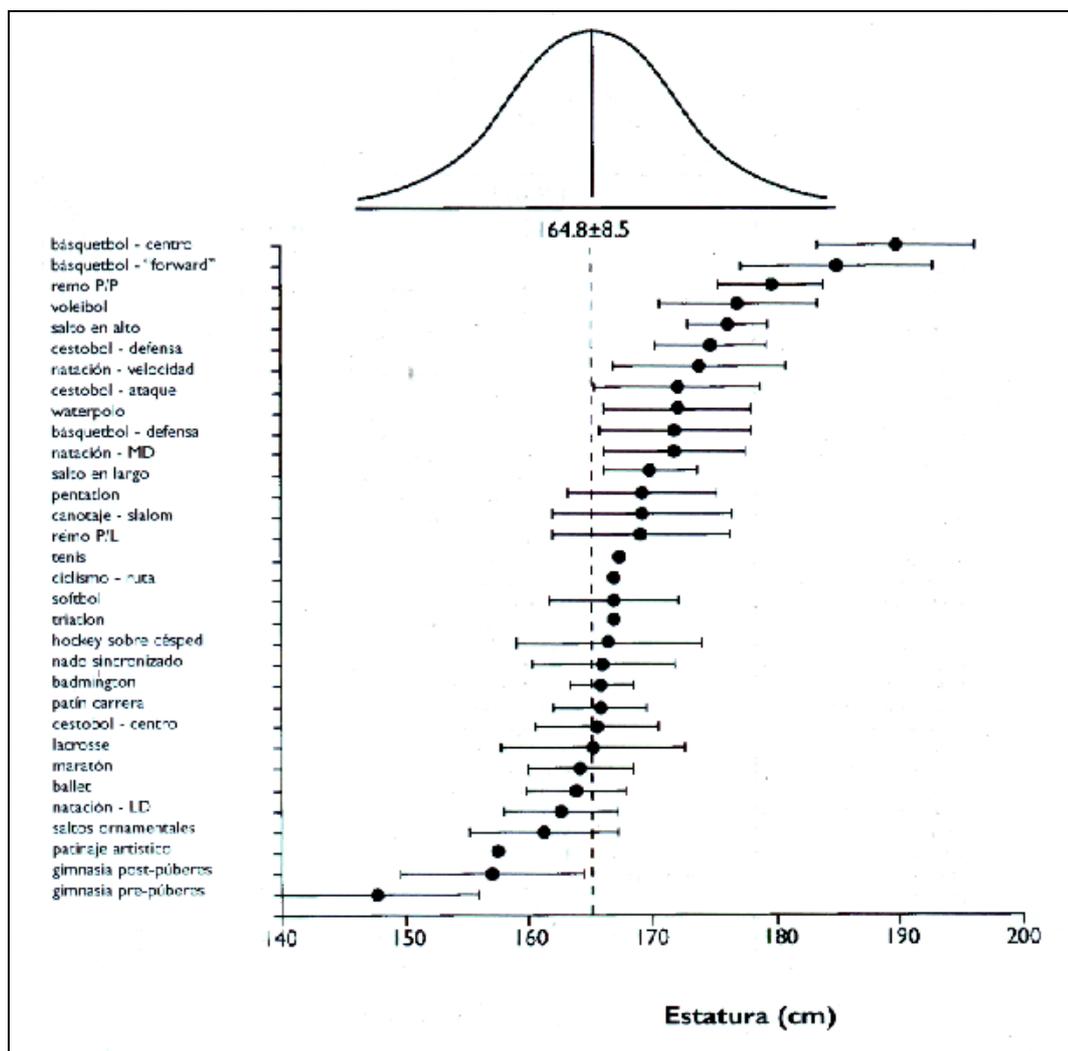


FIGURA 5. Gráfico de las alturas medias (+/- DS), en deportistas mujeres en distintos deportes, en relación a la población de referencia compuesta por no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Ackland, Schreiner, & Kerr, 1994; Claessens, Hlatky, Lefeure, & Holdhaus, 1994; DASET, 1992; Fleck, 1985; Faulkner y cols., 1976; Fox, 1979-1993; Hahn & Bourdon, 1995; Ireland & Mitchell, 1987; Ingen Schenau & de Groot, 1983; Khosla & McBroom, 1988; Leake & Carter, 1991; Mazza y cols., 1994; Micheli, Gillespie, & Walaszek, 1984; Mikkelsen, 1979; Nünimaa y cols., 1979; Norton, 1984; O'Toole, Douglas, & Hiller, 1989; Spence, 1980; Sovak & Hawes, 1987; Tittel & Wutscherck, 1992; Withers, Whittingham y cols., 1987.

A este respecto, los jugadores altos están en ventaja porque pueden mantener un ángulo más agudo en el servicio. Además, la introducción del «tie-break» para determinar el ganador de un set o de un partido ha reforzado la importancia de un servicio dominante y, por lo tanto, de la altura. En respaldo de esta afirmación se observó un débil, pero de cualquier manera significativo, coeficiente de correlación negativa de Spearman ( $\rho = -0.19$ ;  $p = 0.036$ ) entre la altura de los 100 mejores jugadores varones de la ATE (en 1994) y sus más altos ranking alcanzados (Tour del ATP, 1995).

### **Voleibol**

En el Voleibol, la altura de la red está fijada en 2.43 m para los Varones, y 2.24 m para las mujeres. Por lo tanto, los jugadores altos tienen que saltar a un porcentaje relativo menor de su estatura para poder superar la altura de la red. Debido a que los bloqueadores y los rematadores pasan entre 7.5 y 15 minutos en actividades de saltos en cada partido, los saltos explosivos repetidos son la clave del triunfo (MacLaren, 1990). Si bien Khosla (más arriba) argumentó que las poblaciones que son relativamente bajas de estatura están en desventaja en deportes que requieren altura, aún así podrían tener éxito a nivel internacional. Por ejemplo, el equipo femenino de Voleibol del Japón obtuvo la medalla de oro en las Olimpiadas de Montreal con un equipo con un rango de altura entre 169 y 180 cm. En base a la distribución de alturas de los japoneses (media 152 cm), menos del 0.3 % de las mujeres podrían ser mayores a 169 cm (MacLaren, 1990). Otros voleibolistas de la misma competencia tuvieron un promedio cercano a los 178 cm (Khosla, 1983).

### **Básquetbol**

El básquetbol siempre ha sido dominado por jugadores altos. Cerca del 5 % de jugadores que comenzaron sus carreras en la NBA (E.E.U.U.) en el período 1990-1993 tenía una altura de 213.4 cm (7'0") o más (Sachare, 1994). Actualmente, los dos jugadores más altos de la NBA miden 231.1 cm (7'7"). Sorprendentemente, ambos jugadores son de países extranjeros (Rumania y Sudán). Dado que el tamaño de los jugadores continúa aumentando (Sección 3, más adelante) hubo un debate considerable en las Ligas Profesionales de Básquetbol, particularmente en los Estados Unidos, con respecto a la adecuación de las dimensiones actuales de la cancha y la altura del cesto. Se está volviendo bastante difícil ubicar diez jugadores de fuerza, agilidad, y proporciones extremas

en la cancha sin aumentar, al mismo tiempo, el riesgo de colisiones corporales. Se ha sugerido que la cancha se agrande o que se reduzca a 4 el número de jugadores (Sachare, 1994).

### **Remo**

El remo tiene dos divisiones; peso liviano (menos de 72.5 kg y 59.0 kg para los varones y mujeres, respectivamente) y peso pesado (sin límite superior). Las alturas de los deportistas que compiten, tanto en la categoría de peso liviano como en la competición abierta, muestran el tamaño requerido para triunfar en las competencias. Los remeros que triunfan en la competición abierta son más grandes y más mesomórficos que sus compañeros que no alcanzan el triunfo (Rodríguez, 1986; Ross, Ward, Leah, & Day, 1982; Secher, 1983). Debido a que el peso de los botes y el peso de los timoneles por categorías, también son constantes, los modelos matemáticos para predecir el remero más grande (en competencia abierta) estarán en ventaja porque la potencia fisiológica pesa más que la resistencia del bote en el agua (Secher, 1990).

Sorprendentemente, los valores de la ZS para las remeros P/P han disminuido dramáticamente durante la última década en Australia, a medida que el deporte apuntaba a deportistas jóvenes altos. Por ejemplo, los datos recolectados entre los comienzos y la mitad de los '80 muestran que las mujeres P/P tenían una altura cercana a los 167 +/- 4.3 cm (Whiters, Whittingham y cols., 1987) ( $ZS = 65.0$  %). Esta aumentó a 177.2 +/- 3.6 cm ( $ZS = 25.4$  o/) hacia el final de la década de 1980 (Telford, Egerton, Hahn, y Pang, 1988), y ahora es de 179.2 +/- 3.6 cm ( $ZS = 20.9$  %) (Hahn & Bourdon, 1995).

### **Baja estatura**

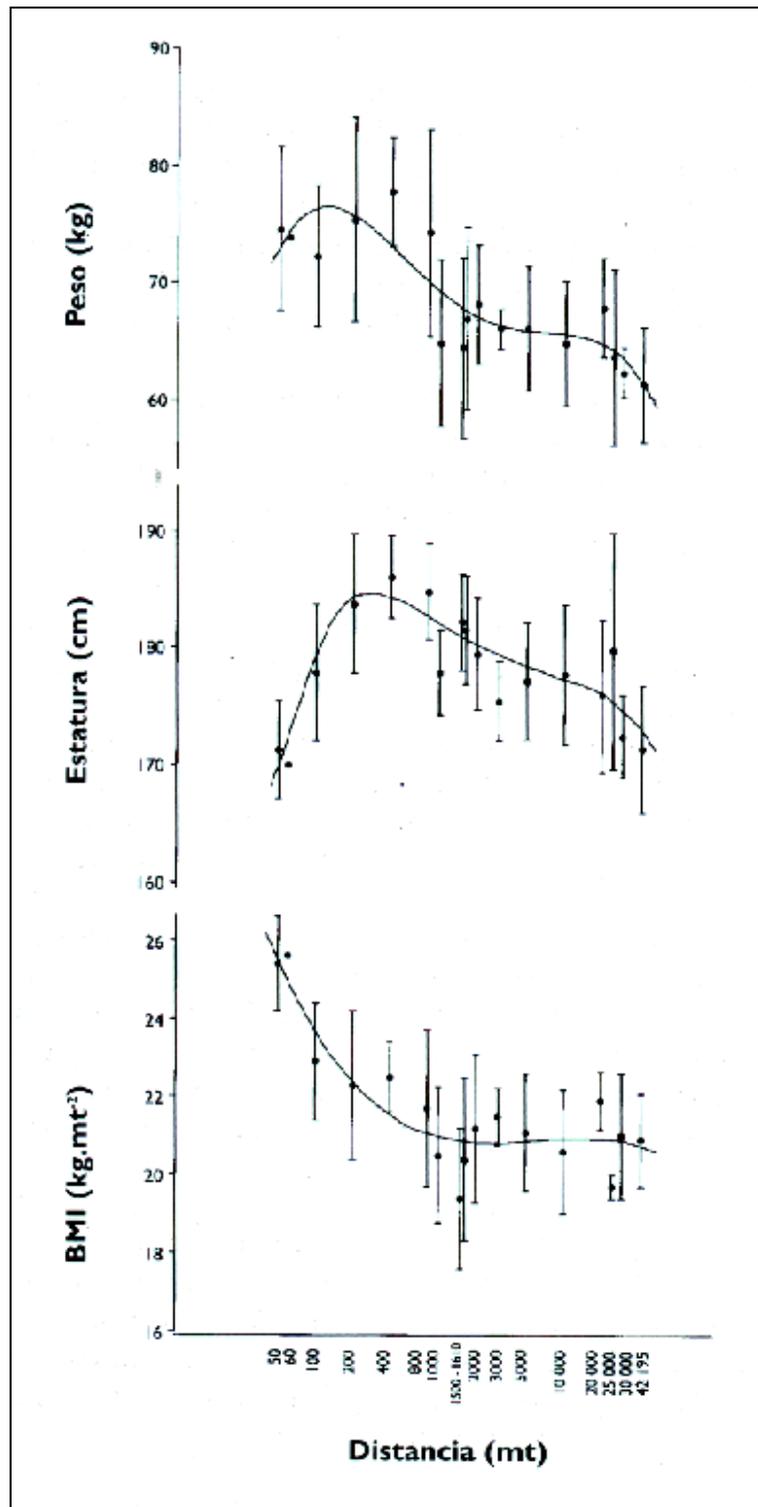
El ser de baja estatura es particularmente ventajoso en la aceleración (Ford, 1984), cuando se cambia de dirección (agilidad), y al escalar una montaña. Quizás el mejor ejemplo de la importancia de la interacción entre la altura con otras características fisiológicas puede observarse en las carreras. Para poder descartar todas las influencias posibles del análisis, se llevó a cabo una revisión de los datos antropométricos (Falls, 1977; Ford, 1984; Fox, 1979-1993) de varones que obtuvieron records mundiales en carreras de distintas distancias. La Figura 6 muestra la relación entre las alturas de estos deportistas con relación a las distancias en las cuales eran especialistas.

La Figura 6 muestra el cambio gradual en la morfología a medida que uno se desplaza desde las distancias más cortas hasta el maratón. Los deportistas más bajos se encuentran en las distancias extremas, ya sea eventos muy cortos (< 100 mt) o muy largos (> 5.000 mt). Para investigar las posibles conexiones funcionales con estas tendencias, es útil revisar aspectos de las performances. Mientras que las velocidades medias más elevadas se alcanzan en eventos de 100-200 mt, las distancias más cortas tienen una fase de aceleración relativamente más larga, y por lo tanto, una velocidad media levemente menor. En estos "sprints" (50-60 mt) el atleta puede estar acelerando en la línea de llegada (Radford, 1990). Esto favorecerá a los deportistas más bajos, con piernas relativamente cortas. Debido a que una cadencia de piernas de al menos 4.5 pasos/seg, tanto para hombres como para mujeres, es un requisito previo para velocistas de nivel mundial, las piernas más cortas generalmente tienen un menor momento de inercia, o resistencia al movimiento, que las piernas más largas. Los velocistas también tienen grandes cocientes potencia/peso, reflejado en los BMI relativamente altos y en bajos pliegues cutáneos.

En los eventos con distancias más largas, la masa muscular excesiva es un impedimento requiriendo gastar considerable energía para su transporte, y aún así no es crítica por la producción de potencia relativamente baja. De forma similar, las masas óseas, grasa, y residual son tejidos que necesitan ser minimizados. Es por ello que los deportistas son normalmente pequeños, magros y tienen bajos BMI. Estos deportistas poseen cantidades óptimas de masa muscular, la cual aporta la potencia adecuada para correr a velocidades sólo levemente superiores a 3 minutos por cada kilómetro en la maratón. El hecho de que no sean más pequeños que lo ilustrado en la Figura 6, presumiblemente, se debe a que este hecho podría resultar en un desequilibrio entre las presiones de competencia para la forma corporal. Por ejemplo, algo de presión estaría operando hacia la selección de

deportistas más grandes porque estos últimos son más eficientes, requiriendo un costo energético relativamente menor por unidad de distancia recorrida (ver Capítulo 5). En el otro extremo del espectro de las presiones, ser pequeño también estaría presente dado que una menor proporción cociente entre la superficie corporal y el peso (a una masa muscular constante) es una ventaja para la termorregulación, y hay un menor gasto calórico absoluto para mover el cuerpo durante la distancia establecida. Muchos otros factores están indudablemente involucrados, pero la cuantificación de su influencia es difícil de determinar.

En los deportes de alta velocidad serán seleccionados individuos más pequeños. Esto se debe a que existe una relación relativamente constante entre la superficie corporal y el área frontal proyectada (Ap). El Ap determina en gran parte el costo energético que supone moverse, dependiendo de factores tales como la velocidad y el diseño del equipo. Por ejemplo, el Ap en Patín Carrera también es crítica. Los deportistas deben ser capaces de mantener una posición corporal baja (ángulo del tronco) para reducir el Ap durante un tiempo de hasta 14 minutos. Se ha sugerido que casi la mitad de la diferencia en la performance entre hombres y mujeres se debe a la habilidad de los hombres de mantener un menor ángulo de tronco (Ingen Schenau & de Groot, 1983). Esto requiere mayor fuerza en los extensores de la cadera. Por lo tanto, un centro de gravedad más bajo, piernas musculares cortas, y glúteos fuertes brindan una ventaja. Sin embargo, los ciclistas han podido adaptarse a esta presión de selección en la búsqueda de deportistas más bajos introduciendo cambios aerodinámicos tales como aeromanubrios y modificando la posición del cuerpo (ya que pueden descansar sobre los manubrios). Por eso, los ciclistas varones de pruebas contra reloj son deportistas grandes, con un promedio de 186.3 +/- 6.7 cm (Foley y cols., 1989). Esto le da al atleta más grande una ventaja fisiológica cuando pedalea en el llano, ya que



**FIGURA 6.** Relaciones entre el peso corporal, estatura, e índice de masa corporal (IMC o BMI), de deportistas varones que marcaron records mundiales, y su especialidad con respecto a la distancia de carrera.

Los datos representan las medias (+/- DS) y fueron recolectados de Falls (1977), Ford (1984), y Fox (1979-1993). Las líneas de mejor ajuste fueron generadas por computación.

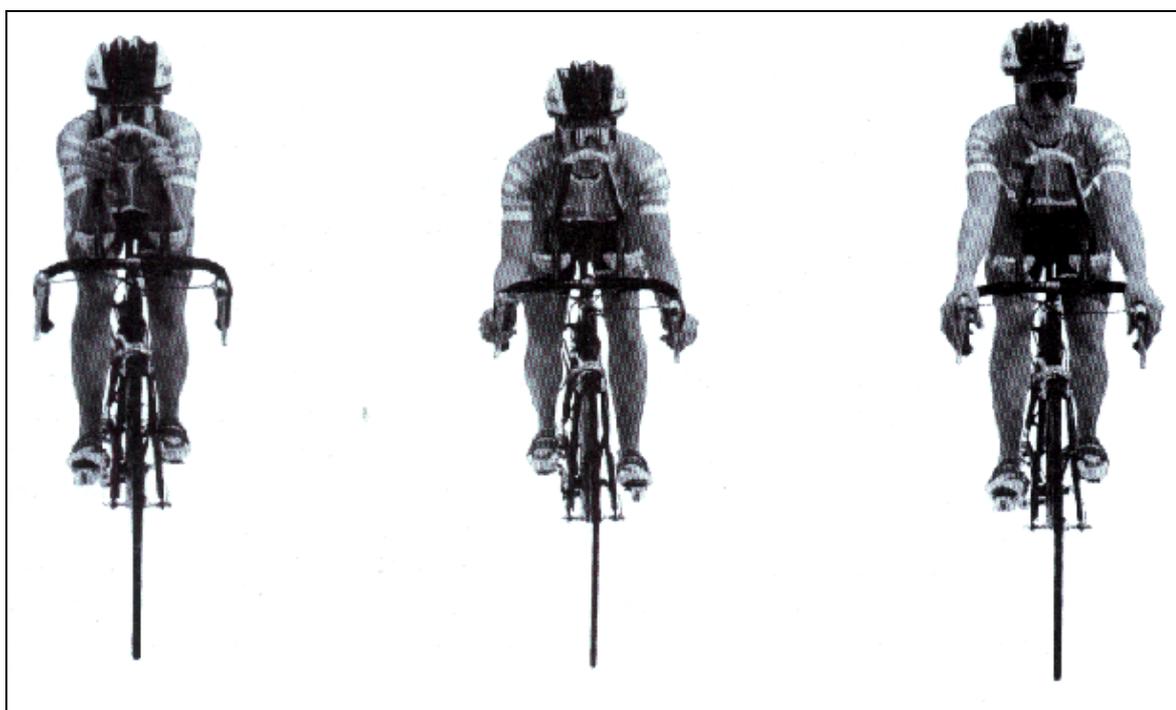
el  $VO_{2max}$ , se balancea con el peso cerca de una relación de 2/3, mientras que el costo de  $VO_2$  en ciclismo se equilibra con el peso en una potencia menor a 2/3 (Swain, 1994). Sin embargo, el tamaño

corporal, y por lo tanto, el Ap son factores críticos en el ciclismo. En la Figura 7 se presentan los efectos del cambio del Ap en el ciclismo, en relación a los tiempos estimados de performance.

Se pueden encontrar deportistas de estatura baja en eventos tales como Gimnasia, Patín Artístico, Ballet, y Saltos Ornamentales. En estos eventos, a menudo, es necesario que el cuerpo se mueva a elevadas velocidades angulares. La estatura baja y las extremidades cortas permiten las reducciones en los momentos de inercia durante los cuales, debido a la conservación del momento angular durante el movimiento angular, facilitan una mayor velocidad angular. Por lo tanto, los deportistas pequeños pueden girar más rápidamente y realizar más vueltas que los deportistas más altos.

En general, en los deportes en los cuales se desarrollan grandes velocidades angulares o donde el

peso corporal tiene que ser movido durante largas distancias, el tamaño corporal es más pequeño. Cuando la aceleración es importante, o cuando la rapidez de los movimientos de las extremidades es crítica, los deportistas más pequeños también estarán en ventaja. Cuando los deportistas tienen que superar obstáculos externos predominan los deportistas más grandes y más potentes (Ford, 1984). Sin embargo, cuando este objeto externo es otra persona que puede tomar decisiones acerca de cuando y cómo moverse, los deportistas no son tan grandes como de otra manera se podría esperar. Esto es para acomodar el menor tiempo de respuesta requerido para contrarrestar los movimientos del oponente.



	Aeromanubrio	Manubrios hacia abajo	C/cobertura de frenos	
<b>Posición de pedaleo</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Ap (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tiempo (min.)</b>	<b>% Δ de la posición de manubrios hacia abajo</b>
Aeromanubrio	3000	0.4234	4:01	-3.8
Manubrios hacia abajo	3000	0.4796	4:10.6	0
C/cobertura de frenos	3000	0.5241	4:17.6	+2.8
Aeromanubrio	40000	0.4234	56:51	-3.6
Manubrios hacia abajo	40000	0.4796	58:59	0
C/cobertura de frenos	40000	0.5241	60:44	+3.0

**FIGURA 7.** Efecto de la posición de pedaleo sobre el tiempo de performance estimado. Se llevaron a cabo múltiples simulacros utilizando un modelo computado para cuantificar los cambios en el tiempo estimado de la carrera contra reloj, usando datos de laboratorio para esta ciclista de nivel nacional (Olds, Norton, & Craig y cols., 1993; Olds y cols., 1995). Las estimaciones estuvieron basadas en alteraciones en el área frontal proyectada (Ap) de la ciclista, desde una posición standard de carrera (manubrios hacia abajo).

### 2.1.1 Entrenamiento y factores hereditarios

La morfología humana o fenotipo está determinada por la combinación de la descripción genética de la persona, su genotipo, las condiciones ambientales a las cuales están sujetas, y a la interrelación entre estos elementos. Es decir, cómo la dote genética de una persona interactúa con las influencias ambientales, tales como el entrenamiento físico. Esto se puede describir por la siguiente fórmula simple (Bouchard & Lortie, 1984).

$$V_p = V_G + V_A + V_{G \times A} + e$$

Donde:

$V_p$  representa la variación total observada en la variable antropométrica,

$V_G$  representa el componente genético de la variancia,

$V_A$  representa el componente ambiental o no genético de la variancia,

$V_{G \times A}$  representa el efecto de interacción entre los genes y el medio ambiente, y  $e$  representa el error aleatorio incluido en este modelo de genética cuantitativa.

Muchos estudios han mostrado que si bien una pobre nutrición puede tener influencia sobre la estatura, la misma está determinada principalmente por el genotipo (Bouchard & Lortie, 1984). La estatura final adulta no se ve afectada en gran medida por el ejercicio, ni siquiera en las niñas con menarca tardía resultante de un entrenamiento físico intenso (Malina, 1994; ver más adelante). En base a numerosos estudios, el factor total de herencia para la estatura ( $V_G/V_p$ ) es aproximadamente de 0.85 (Bouchard &

Lortie, 1984). Esto significa que para el triunfo en un deporte en el cual es necesario un rango específico de altura, es particularmente importante para los potenciales deportistas tener los genes adecuados.

### 2.2 Peso corporal

Las Figuras 8 y 9 muestran el peso corporal medio observado en deportistas varones y mujeres, respectivamente, en distintos deportes. Los valores de peso más elevados se observan en eventos de corta duración o en los que tienen pequeños cocientes trabajo/pausa, tales como el Sumo, el Levantamiento super-peso pesado, los líneas en el Fútbol Americano, y en otros eventos dependientes de la fuerza. Los luchadores de Sumo, por ejemplo, pueden pesar hasta 263 kg (Zupp, 1994) y los líneas en el Fútbol Americano hasta 143 kg (Reilly, 1990a). Dos excelentes levantadores de super-peso pesado, Jabotinski y Alexyev reportaron pesos superiores a los 160 kg (Jokl, 1976). Otros deportistas macizos se observan en eventos de Lanzamiento, particularmente del disco, martillo, y bala. Debido a su extrema altura, los remeros de peso pesado y los jugadores de Básquetbol también son deportistas pesados, pero con bajos niveles de adiposidad.

Un elevado peso corporal es una ventaja en muchos deportes. Khosla (1968) presentó datos sobre el peso de varones ganadores versus el peso de otros participantes, en los eventos abiertos en las Olimpiadas de 1964. Estos datos se muestran a continuación:

Evento	Peso de los ganadores (kg)	Peso medio de los participantes categoría peso pesado (kg)
Boxeo	89.1	87.7
Lucha libre	106.4	102.7
Lucha Greco-Romana	135.5	115.5
Yudo	120.5	104.5
Levantamiento de pesas	157.3	113.6

**TABLA 3.** Peso corporal de ganadores olímpicos varones versus el peso de todos los competidores en cada evento (los datos fueron calculados a partir de los presentados por Khosla, 1968).

Claramente, el peso en estos eventos brinda una ventaja, particularmente si la masa adicional es masa magra.

En muchos deportes, pequeños incrementos en el tamaño y el peso corporal pueden tener un impacto significativo sobre la performance. Suponiendo una composición corporal constante, un aumento en el peso incrementa tanto la demanda de energía como el

aporte calórico en la mayoría de las actividades deportivas. Por ejemplo, un mayor peso en ciclismo (de la bicicleta o del ciclista) aumenta la resistencia de rodado, el Ap y, consecuentemente, la resistencia del aire, la energía necesaria para subir una cuesta, y la energía cinética impartida a la bicicleta durante la aceleración (Olds y cols., 1995).

Los pesos medios más bajos (en deportes que no involucran categorías por peso) son observados cuando el cuerpo no es sostenido por ninguna clase de equipo externo. Extremos de pesos corporales bajos se observan, tanto para varones como para mujeres, en deportes tales como las Carreras de «Ultraendurance», Gimnasia, Patinaje Artístico, y Saltos Ornamentales. Sorprendentemente, casi dos tercios de los deportes masculinos (aleatoriamente seleccionados) se encuentran por encima del peso medio de la población, mientras que ocurre lo contrario con las mujeres. Debido a que la mayoría de deportistas mujeres son más altas que sus pares no deportistas, esto sugiere que existe una gran diferencia en el nivel de grasa corporal entre los grupos de deportistas y no deportistas.

### 2.2.1 Entrenamiento y factores hereditarios

La influencia genética del peso corporal con frecuencia ha sido analizada utilizando la evaluación del BMI de padres e hijos (Bouchard & Lortie, 1984). Si bien el BMI ( $\text{peso} \times \text{altura}^{-2}$ ) no tiene en cuenta aspectos de la composición corporal, de cualquier manera brinda alguna indicación del tamaño corporal relativo. El consenso parece ser que el parecido de individuos heterogéneos, no importa cuán extremos, produce un inmenso rango de progenie. Sin embargo, se demostró un mayor factor de herencia (es decir, menor variación entre padres y el tipo corporal de los hijos adultos) en padres homogéneos, particularmente cuando los padres tuvieron altos valores de BMI (Bouchard & Lortie, 1984). De modo similar, las estimaciones de la concordancia entre las calificaciones de somatotipo entre padres e hijos han variado desde asociaciones moderadas usando métodos antropométricos [nivel hereditario cercano a 0.50 para el endomorfismo, 0.42 para el mesomorfismo, y 0.35 para el ectomorfismo (Bouchard & Lortie, 1984)], hasta un relativamente elevado 0.75 utilizando calificaciones fotográficas (Parnell, 1958).

Los libros de texto indican que aproximadamente el 14 % de la masa corporal es hueso (Goldberg, 1984). Esto puede variar considerablemente dependiendo

tanto de las proporciones relativas de los otros componentes, como del tipo y cantidad de ejercicio llevado a cabo (Chilibeck, Sale, & Webber, 1995). Por ejemplo, se ha reportado que el hueso, como porcen taje de la masa magra, varió de 16.3 a 25.7 % entre 25 cadáveres (Clarys, Martin, & Drinkwater, 1984). A pesar de que está bien reconocido que existe una fuerte influencia genética en la longitud de los huesos, los diámetros, la mineralización, el grosor cortical y el peso de los mismos también están bajo considerable control genético (Bouchard & Lortie, 1984). Por ejemplo, Smith, Nance, Kang, Christian, & Johnston (1973) observaron que la variancia entre pares, en la masa ósea, en gemelos monocigóticos (MC) fue casi 1/4 de la de mellizos dicigóticos (DC), y altamente significativa. También se observó cerca de 1/2 de la variancia para el diámetro óseo en los pares MC, en comparación con los pares DC. El tamaño del marco esquelético, importante contribuyente del peso corporal, y en la predisposición de los individuos a determinados deportes, también está dominado por la herencia genética.

Debido a que en los estudios poblacionales el peso corporal y la altura tienen una elevada correlación, los individuos más altos también tienden a ser más macizos y pesados. Por lo tanto, en los deportes en los cuales es necesario un peso corporal bajo, normalmente se seleccionan a las personas de menor estatura, mientras que en los deportistas más altos con frecuencia se encuentran grandes pesos corporales.

### 2.3 Proporción altura sentado/estatura

El cociente entre la altura sentado y la estatura nos indica la longitud relativa de las piernas con respecto a la estatura. Las Figuras 10 y 11 muestran el cociente altura sentado/estatura observado en deportistas varones y mujeres, respectivamente. Estas figuras indican que los extremos en esta proporción, en deportistas varones, se encuentran en disciplinas que requieren gran fuerza con la parte superior del cuerpo, como el Levantamiento de Pesas y la Lucha. No se pudieron encontrar datos equivalentes en las mujeres, pero largos torsos con relación a la altura no son frecuentes entre deportistas mujeres. Esto puede reflejar la desventaja que presenta un torso relativamente largo en deportes que requieren una considerable movilidad y velocidad. En general, las figuras muestran un alto grado de paralelismo, a pesar del desvío hacia arriba en el cociente altura sentado/estatura de la población, para las mujeres en relación con los varones (ver abajo). Troncos relativamente cortos pueden observarse en distintos

deportes incluyendo Básquetbol, Voleibol, y otras disciplinas que requieren saltar, tales como el Fútbol Australiano y el Decatlon. Los remeros también tienden a tener troncos relativamente cortos. Los remeros de peso pesado exitosos han demostrado

tener largas extremidades, tanto en términos absolutos como relativos (a su altura total) (Ross y cols., 1982; Secher, 1993). En comparación con una población estudiantil de referencia, los remeros de peso liviano

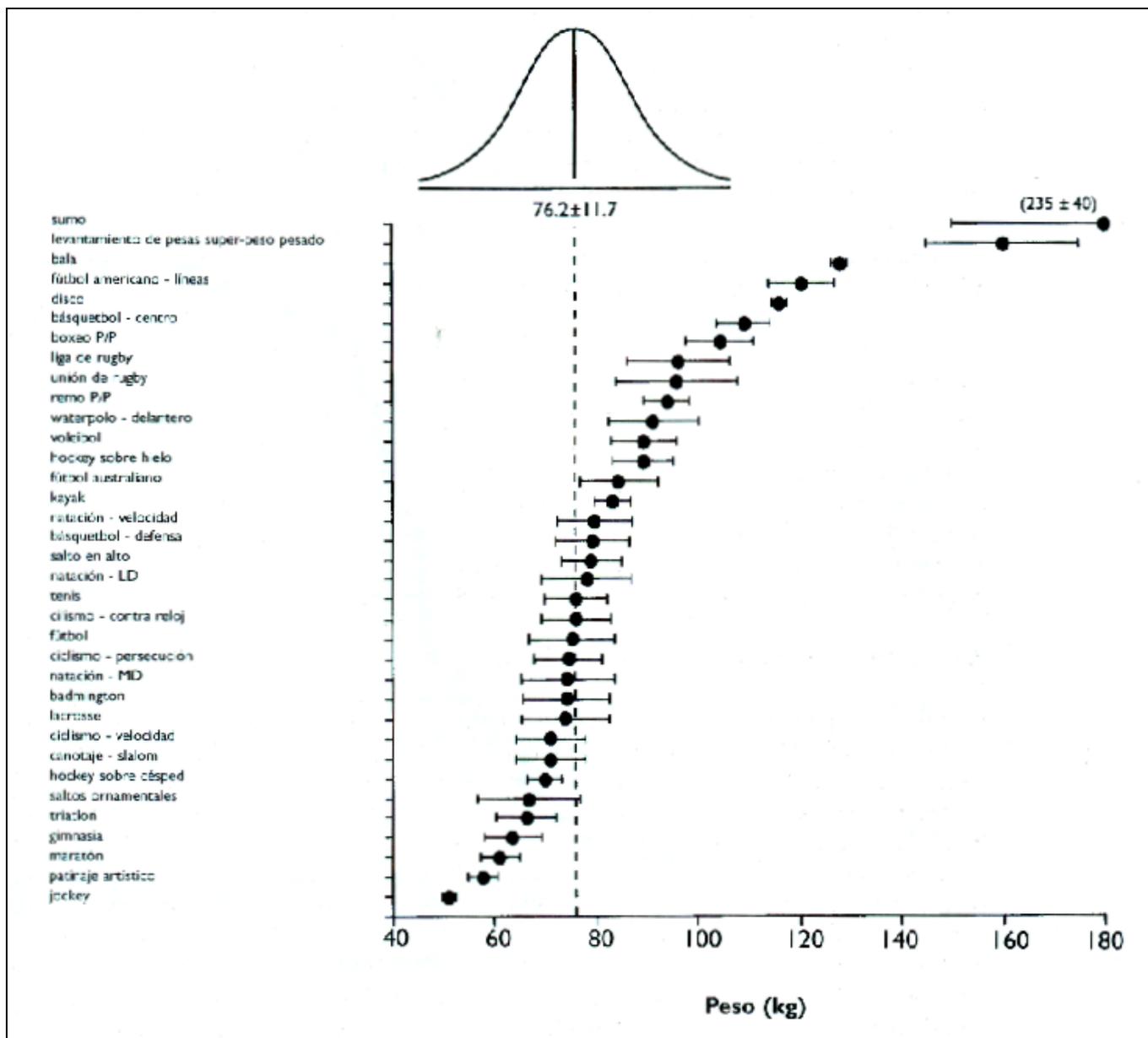


FIGURA 8. Peso corporal (media +/- DS) de deportistas varones, en un rango de deportes, con relación a un grupo de referencia de no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; ATP Tour, 1995; Burke & Reád, 1987; Carter y cols., 1982; Claessens y cols., 1991; Cox, 1995; Craig, 1984; DASET, 1992; Faulkner y cols., 1989; Foley y cols., 1989; Fox, 1979-1993; Jenkins, 1995; Katch & Katch, 1984; Mazza y cols., 1994; Mikkelsen, 1979; Nicholas & Baker, 1995; Nijnmaa y cols., 1979; O'Toole & Douglas, 1995; Parr y cols., 1978; Soares y cols., 1986; Stepnjcka, 1986; Secher, 1990; Wimore & Haskell, 1972; Withers, Craig, y cols., 1987; Zupp, 1994. Ver Tabla 1 para las abreviaciones.

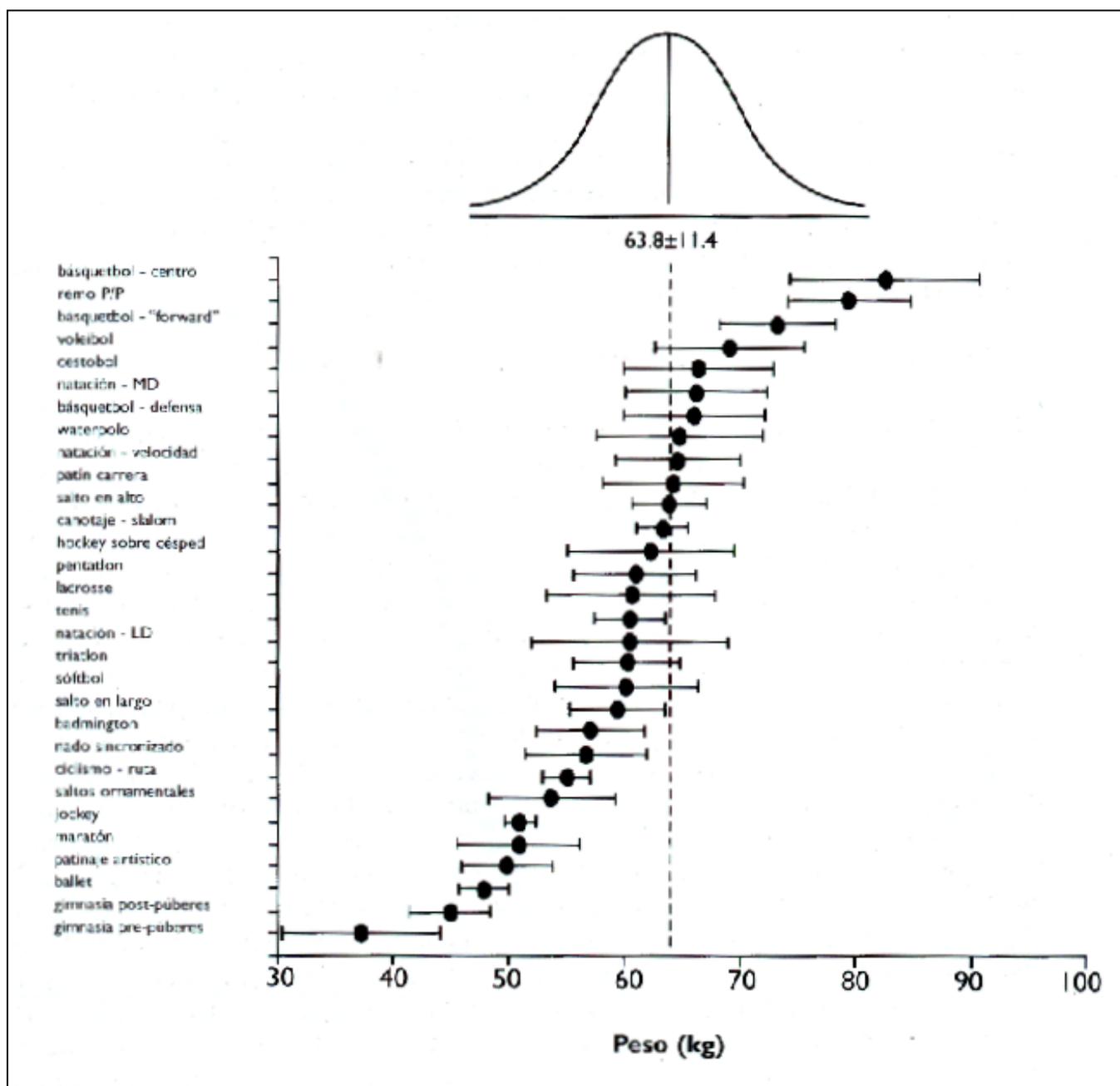
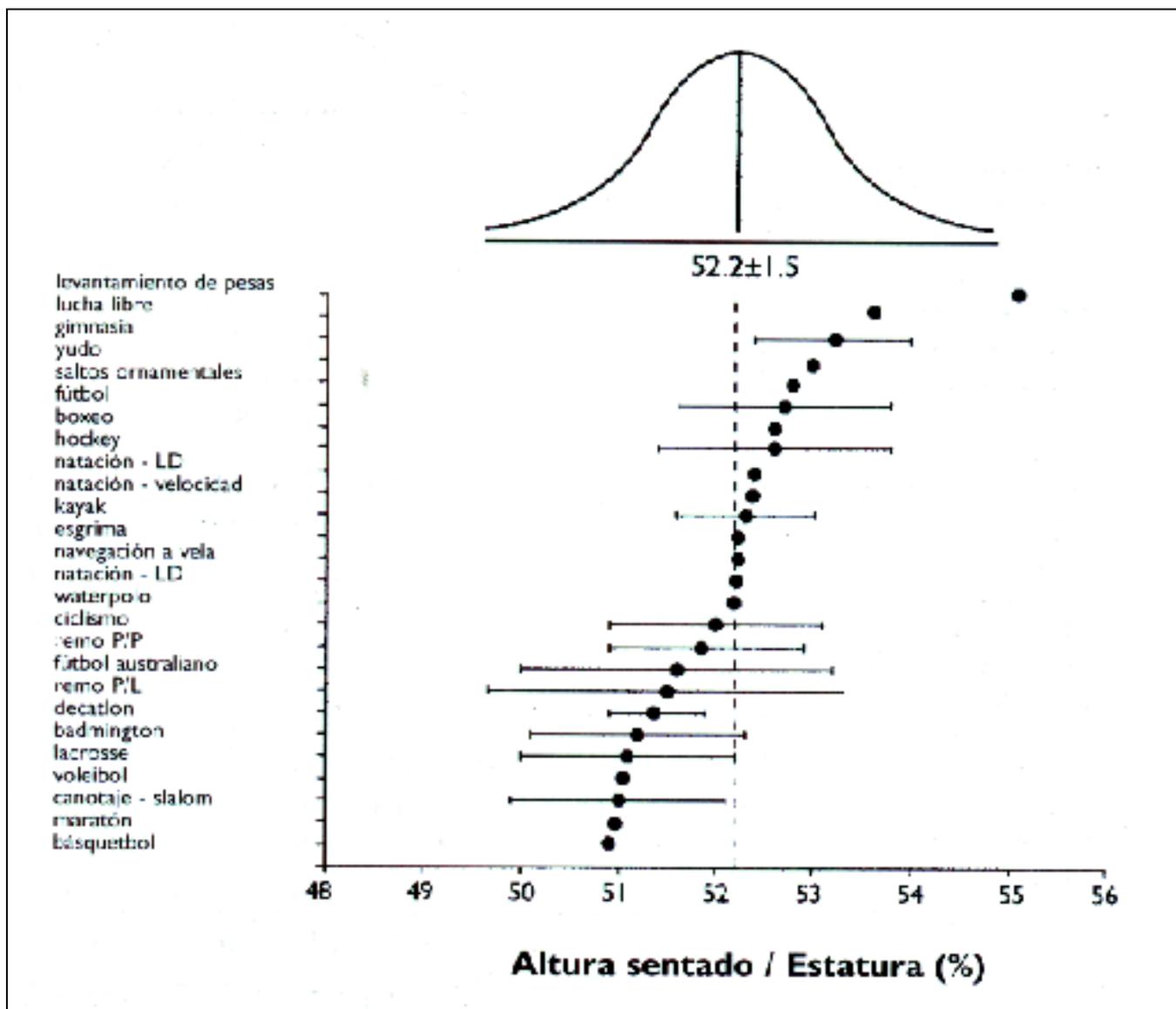


FIGURA 9. Peso corporal (media +/- DS) de deportistas mujeres, en un rango de deportes, con relación a un grupo de referencia de no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Ackland y cols., 1994; Claessens y cols., 1994; DASET, 1992; Fleck, 1985; Faulkner y cols., 1976; Fox, 1979-1993; Jenkins, 1995; Ireland & Mitchell, 1987; Ingen Schenau & de Groot, 1983; Khosla & McBroom, 1988; Leake & Carter, 1991; Mazza y cols., 1994; Micheli y cols., 1984; Mikkelsen, 1979; Niinimaa y cols., 1979; Norton, 1984; O'Toole y cols., 1989; Sovak & Hawes, 1987; Spence, 1980; Tittel & Wutscherck, 1992; Withers, Whittingham y cols., 1987.

también tienen, por lo general, extremidades proporcionalmente largas y alturas sentado más cortas (Rodríguez, 1986). Las extremidades proporcionalmente más largas pueden brindar una ventaja mecánica durante el remo competitivo, permitiendo una mayor longitud de remada. La altura sentado más corta también es una ventaja ya que reduce el Ap, fuente adicional de resistencia al

movimiento, y brinda una mayor estabilidad en el tronco. Los ciclistas de pruebas contra reloj también exhiben una longitud de piernas relativa significativamente mayor, en comparación a ciclistas de otras especialidades (Foley y cols., 1989), aunque los datos de la altura sentado no fueron presentados.



**FIGURA 10.** Cociente altura sentado/estatura (en relación a la longitud de tronco), en deportistas varones en un rango de deportes.

Los datos representan las medias (+/- DS) y están graficados en relación a una población de referencia de no deportistas. Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Ackland y cols., 1994; Carter y cols., 1982; Craig, 1984; Classens y cols., 1991; Hartland, 1981; LeVeau, Ward, & Nelson, 1974; Mazza y cols., 1994; Rodriguez, 1986.

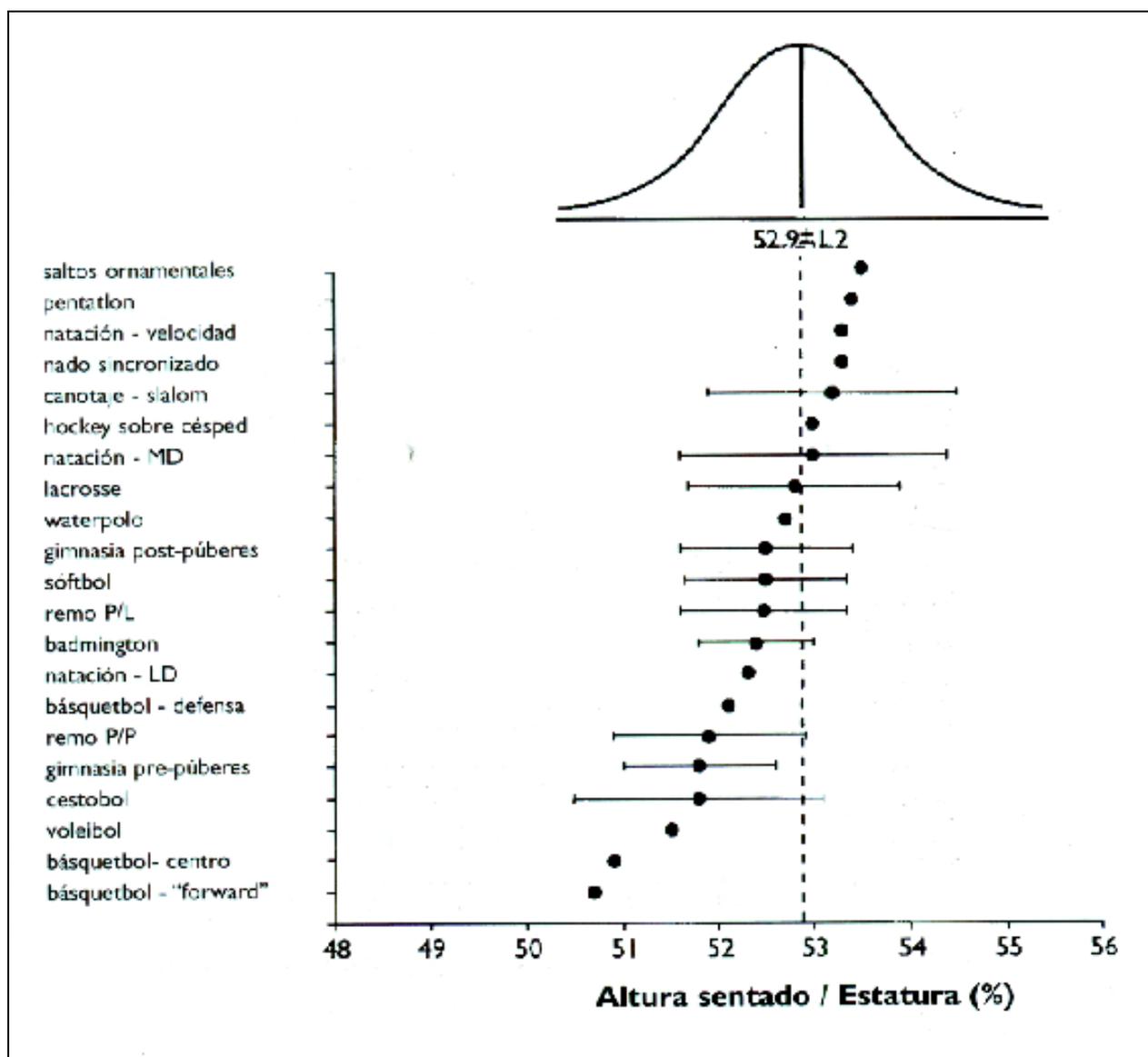


FIGURA 11. Cociente altura sentado/estatura (en relación a la longitud de tronco), en deportistas mujeres en un rango de deportes.

Los datos representan las medias ( $\pm$  DS) y están graficados en relación a una población de referencia de no deportistas. Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Ackland y cols., 1994; Carter y cols., 1982; Craig, 1984; Claessens y cols., 1994; Mazza y cols., 1994; Norton, 1984; Rodriguez, 1986; Smith, 1982.

### 2.3.1 Entrenamiento y factores hereditarios

Las muestras de poblaciones geográficamente diversas variarán en sus tamaños y proporciones corporales características. Muchas de las diferencias entre los grupos son, de algún modo, predecibles en base a las influencias de la evolución. Por ejemplo, se ha mostrado que el peso corporal varía inversamente con la temperatura anual media (Pheasant, 1988). Además, las longitudes relativas de las extremidades (como proporción de la estatura) disminuyen a medida que la temperatura anual media disminuye, y el peso corporal total y la adiposidad aumentan (Pheasant, 1988). De manera similar, la altura sentado relativa muestra el patrón inverso, donde las poblaciones en

climas más fríos tienen extremidades relativamente más cortas y torsos más largos.

Si bien los hombres y las mujeres raramente compiten entre sí en competencias deportivas, es útil considerar las diferencias estructurales y su posible efecto sobre la performance. La Figura 12 muestra la edad, sexo, y variación étnica en la altura sentado. En general, las mujeres tienen troncos relativamente más largos que los hombres. Es importante decir, en cuanto a lo que a rendimiento se refiere, que existen patrones distintivos de aumento y descenso de la altura sentado relativa en los adolescentes. Estas tendencias indican los patrones de crecimiento desincronizado de las extremidades y tronco durante los años de desarrollo, lo cual a menudo, tiene un impacto sobre las destrezas motoras

y la coordinación. Esto también se resalta en la Figura 11, en donde los gimnastas pre-púberes muestran una menor altura sentado relativa que los competidores post-púberes. Quizás, ésta es una de las presiones de selección que llevan a la existencia de gimnastas de élite progresivamente más jóvenes (ver Sección 3, más adelante).

La relación entre la morfología de los deportistas exitosos y sus performances, sugiere una conexión entre la forma y la función. Sobre la base de estos patrones en los tipos corporales (que están asociados con deportes en particular), poblaciones o, más correctamente, proporciones de poblaciones pueden ser adecuadas o no para un deporte, al menos en términos de morfología grosera. Sin embargo, no siempre puede ser así, ya que otras características fisiológicas y psicológicas son tan importantes, en distintos grados o niveles, en diferentes deportes. En general, las distintas poblaciones del mundo, y subgrupos dentro de estas poblaciones, gozan de ventajas en distintos deportes. La ventaja general (dentro del sexo) es que un mayor número potencial

de deportistas con morfología óptima para deportes específicos podrán ser seleccionados a partir de estos «pools» genéticos. Este patrón puede, en parte, explicar la tendencia de porqué los africanos del Este, con extremidades lineales y relativamente largas, triunfen en eventos de «endurance», mientras que los europeos orientales y los asiáticos, con sus extremidades cortas, tengan una larga historia de triunfos en Levantamiento de Pesas y Gimnasia.

Como con la estatura, el cociente altura sentado/estatura y otras proporciones corporales están fuertemente influenciadas por el genotipo, probablemente más aún que cualquier otro grupo de variables antropométricas (Bouchard & Lortie, 1984). El factor hereditario para la altura sentado solo es aproximadamente de 0.67 (Clark, 1956) a 0.71 (Bouchard & Lortie, 1984), si bien la mayoría de las demás longitudes segmentarias están por encima de 0.80. Esto quizás representa la influencia que los tejidos blandos (con factores hereditarios más bajos) tienen sobre la altura sentado y el subsiguiente cociente con la estatura.

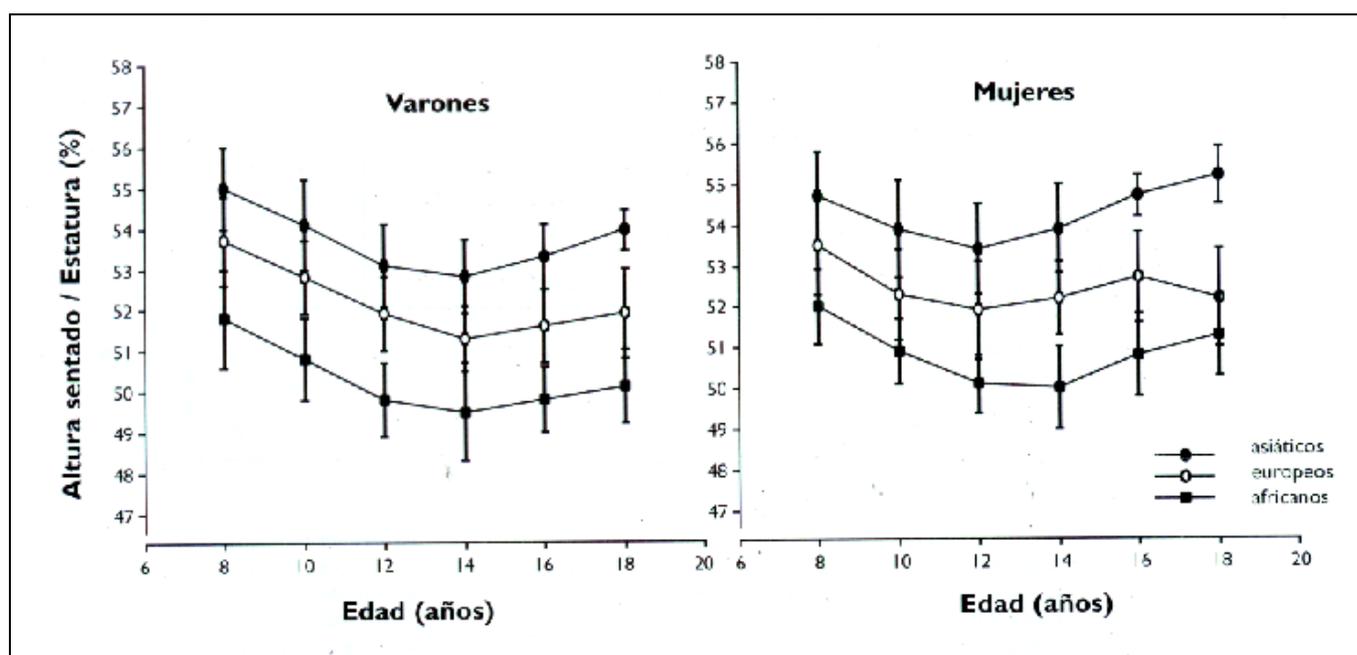


FIGURA 12. Cociente altura sentado/estatura (%) en función del sexo, edad, y origen étnico.

Los datos representan las medias (+/- DS) calculadas a partir de distintos estudios enumerados en tablas reportadas por Eveleth y Tanner (1976).

## 2.4 Proporción longitud de extremidad superior/estatura

El cociente entre la longitud de la extremidad superior (brazo) y la estatura tiene una correlación negativa con el cociente altura sentado/estatura. Es decir, los individuos con troncos relativamente largos

normalmente tienen brazos (y piernas) relativamente cortos. Por lo tanto, como lo indican las Figuras 10 y 11, y lo respaldan las Figuras 13 y 14, los deportistas con troncos relativamente cortos están más frecuentemente asociados con eventos que requieren brazos largos.

Se observan palancas relativamente largas en deportistas varones y mujeres que compiten en Saltos Ornamentales, Waterpolo, Remo y Natación. En Natación y Remo, una gran longitud de brazada es ventajoso, suponiendo que el deportista tiene la potencia muscular para soportarla. Los brazos largos también son útiles para los jugadores de Waterpolo brindándoles mayor alcance para agarrar la pelota. Los boxeadores tienen una combinación inusual de brazos largos y tronco. Las proporciones ideales para los boxeadores serían brazos relativamente largos para un mayor alcance, troncos largos y piernas cortas para descender el centro de gravedad del cuerpo y brindar estabilidad. Si bien, en teoría, los saltadores

ornamentales se beneficiarían con una baja estatura y extremidades cortas (para facilitar los rápidos giros del cuerpo), los saltadores varones y mujeres tienen brazos relativamente largos en relación a la estatura. Quizás, este hecho se relaciona con aspectos de la entrada en el agua.

Por el contrario, se observan extremidades más cortas en los deportistas de fuerza, tales como los levantadores de pesas. Esto se debe a que se requieren palancas más cortas para realizar menos trabajo, donde el peso es levantado a través de una menor distancia.

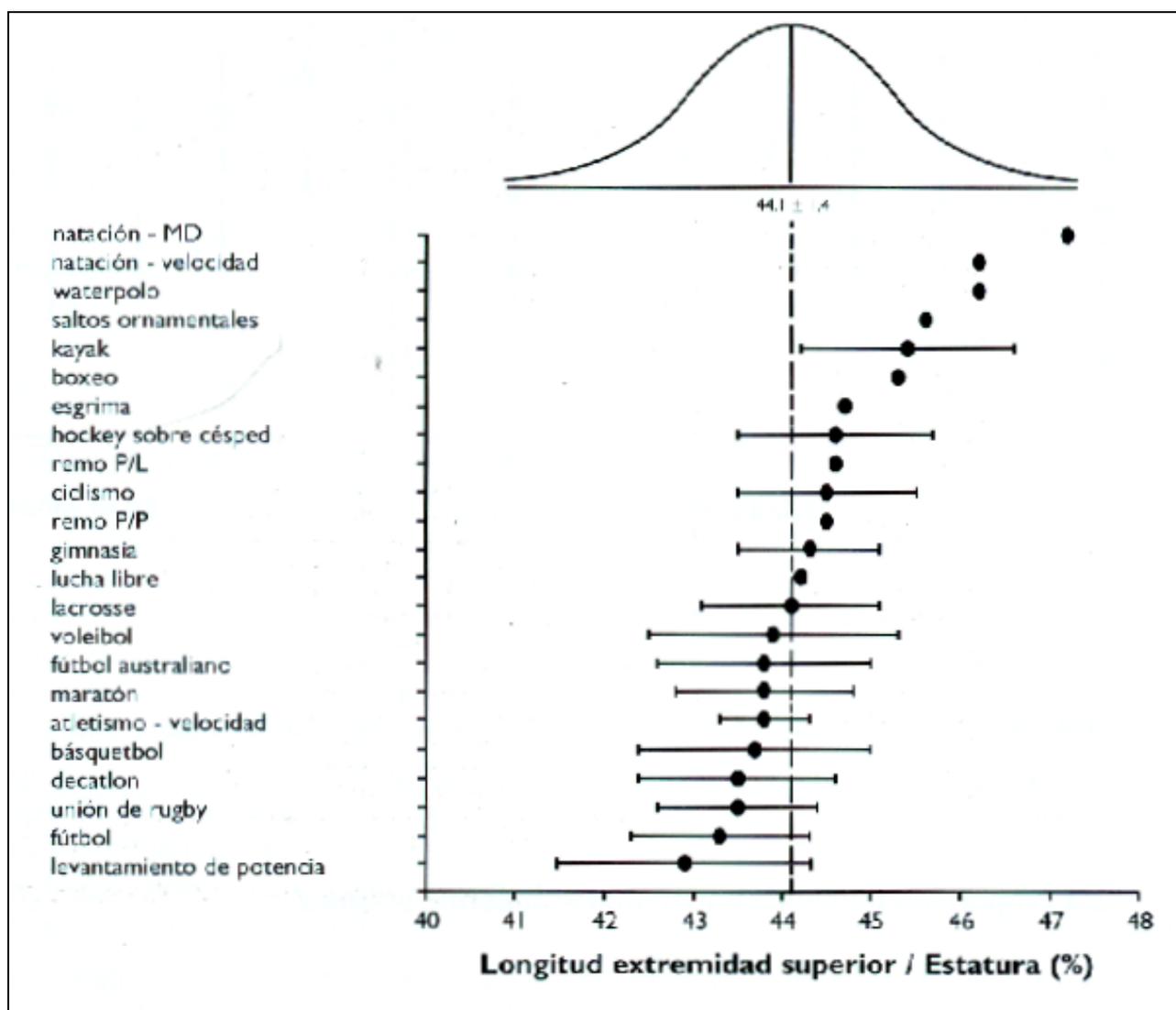
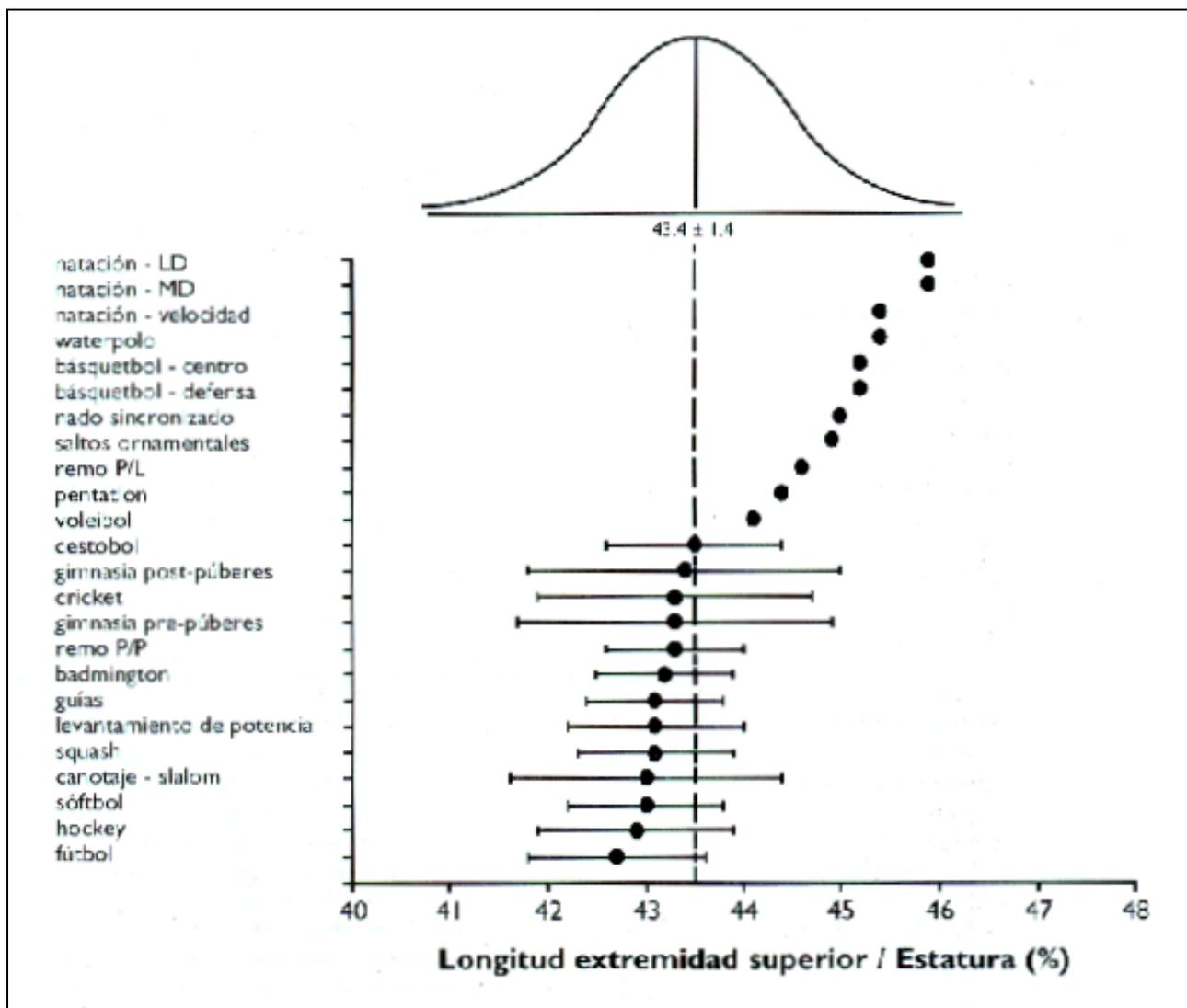


FIGURA 13. Cociente longitud extremidad superior/estatura (media +/- DS) de deportistas varones en un rango de deportes, graficados en relación a una población de referencia de no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Carter y cols., 1982; Craig, 1984; LeVeau y cols., 1974; Mazza y cols., 1994; Paviric, 1986; Vujovic, Lozovina, & Paviric, 1986.



**FIGURA 14.** Cociente longitud extremidad superior/estatura (media  $\pm$  DS) de deportistas mujeres en un rango de deportes, graficados en relación a una población de referencia de no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Ackland y cols., 1994; Carter y cols., 1982; Norton, 1984; Mazza y cols., 1994; Rodriguez, 1986; Smith, 1982.

### 2.4.1 Entrenamiento y factores hereditarios

Como ocurre con la relación entre la altura sentado y los segmentos corporales, las longitudes de brazos y piernas también están bajo un alto grado de control genotípico (Bouchard Lortie, 1984). Estos autores nos refieren a su trabajo previo, mostrando coeficientes hereditarios de  $0.84 \pm 0.10$  para la longitud de las extremidades superiores.

### 2.5 Índice braquial

El índice braquial es la longitud del antebrazo en relación al brazo (parte superior). Las Figuras 15 y 16 muestran el índice braquial observado en deportistas varones y mujeres, respectivamente.

Las longitudes relativas de las palancas del brazo (y de la pierna) son importantes por razones biomecánicas. Los nadadores velocistas, por ejemplo, tienen un alto índice braquial y manos grandes (Ross, Leahy, Mazza, & Drinkwater, 1994), lo cual permite un mayor empuje propulsor del antebrazo. Los canoistas de slalom también tienen brazos relativamente largos para una gran longitud de remada, y también un alto índice braquial.

Por el contrario, los levantadores de pesas y los luchadores necesitan una fuerza y estabilidad tremenda. Esto se logra, en parte, por bajos índices braquiales, y una ventaja biomecánica adjunta de brazos de fuerza cortos.

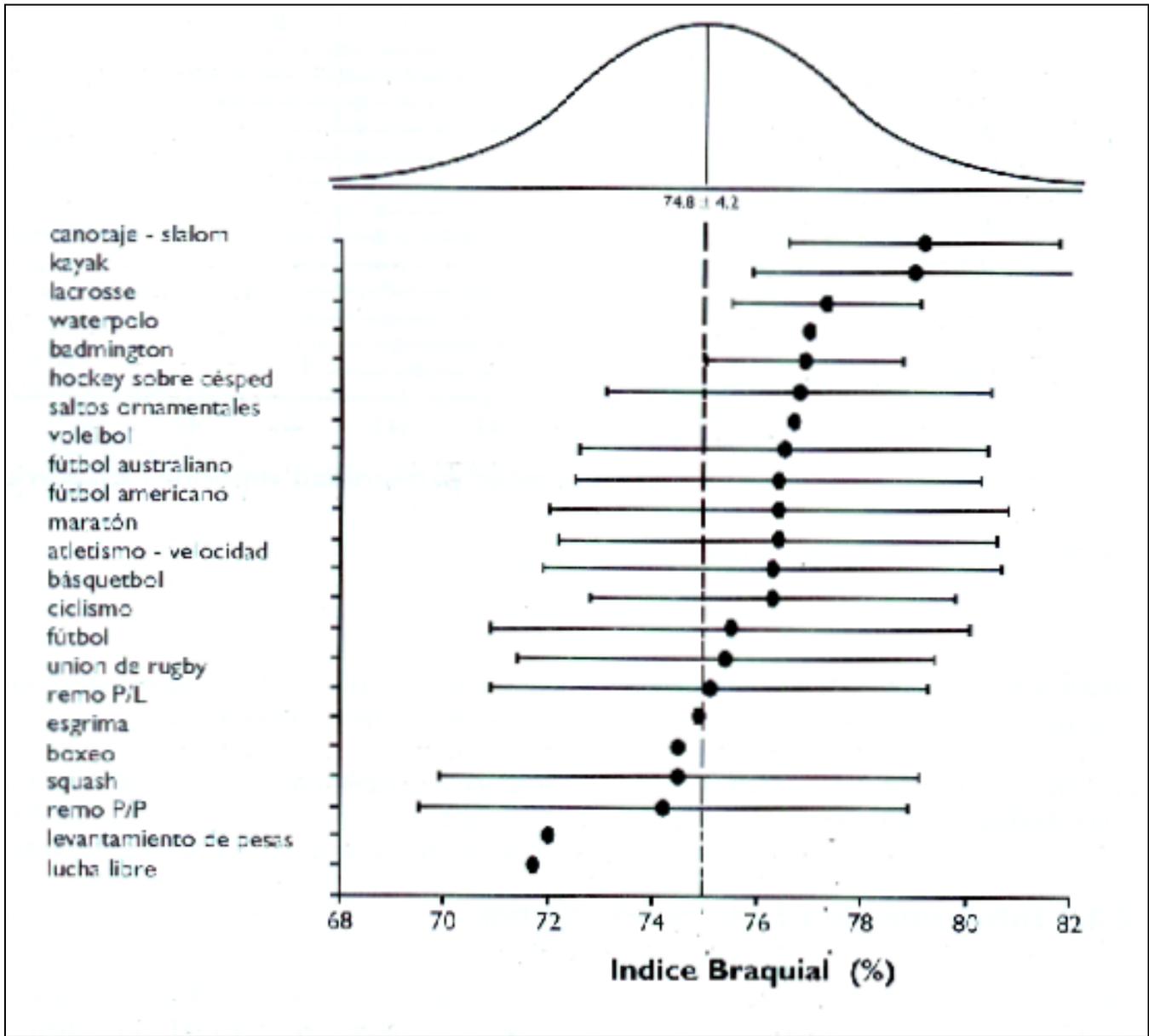


FIGURA 15. Índice braquial (media +/- DS) de deportistas varones en distintos deportes, en un rango de deportes, graficados en relación a una población de referencia de no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Carter y cols., 1982; Craig, 1984; Hartland, 1981; LeVeau y cols., 1994; Mazza y cols., 1994.

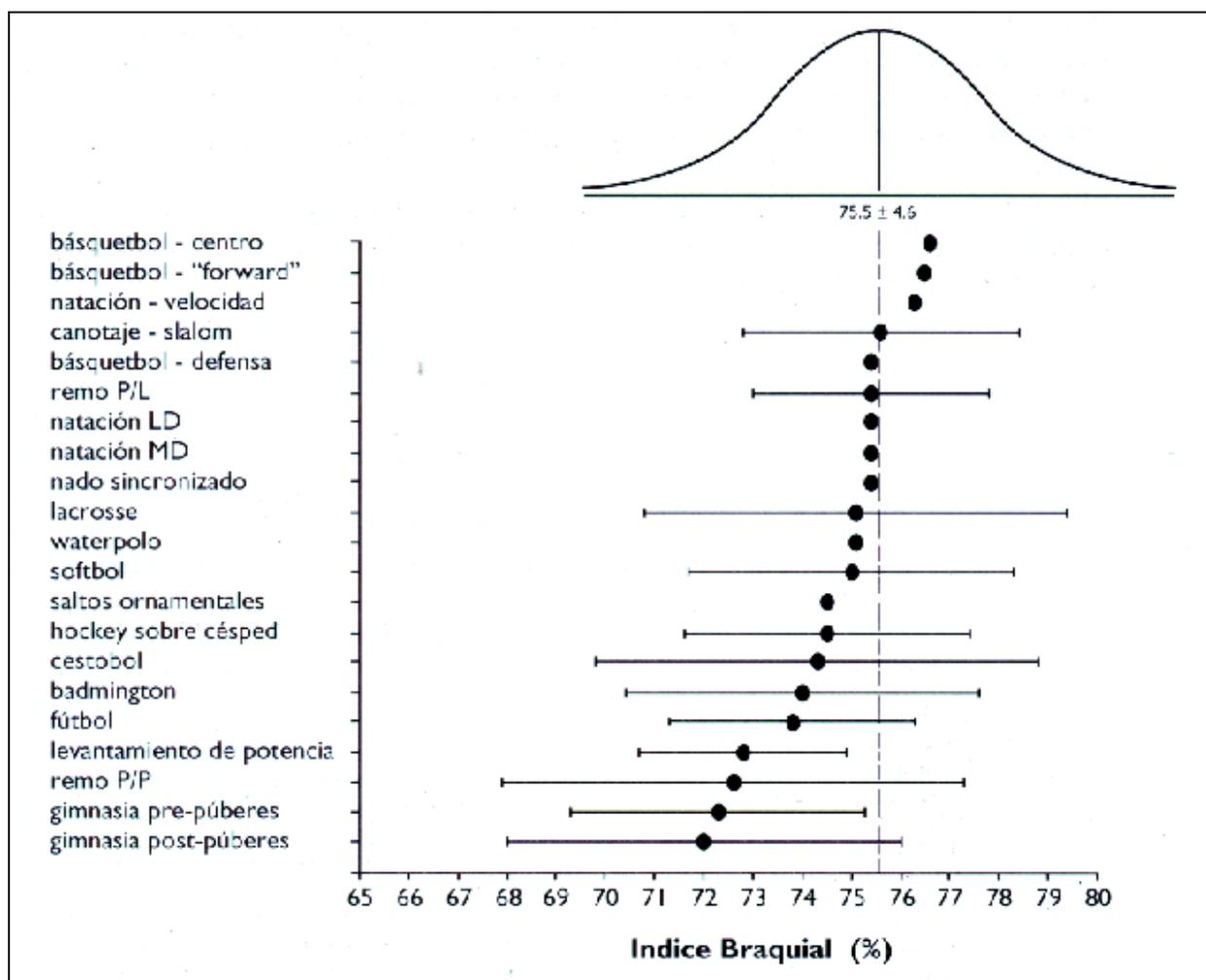


FIGURA 16. Índice braquial (media  $\pm$  DS) de deportistas mujeres en distintos deportes, en un rango de deportes, graficados en relación a una población de referencia de no deportistas.

Los datos son extraídos de: AADBase, 1995; Ackland y cols., 1994; Carter y cols., 1982; Norton, 1984; Smith, 1982.

### 2.5.1 Entrenamiento y factores hereditarios

Bouchard & Lortie (1984) reportan coeficientes hereditarios entre 0.62  $\pm$  0.01 y 0.71  $\pm$  0.09 para las longitudes del brazo y del antebrazo.

### 2.6 Sumatoria de pliegues cutáneos

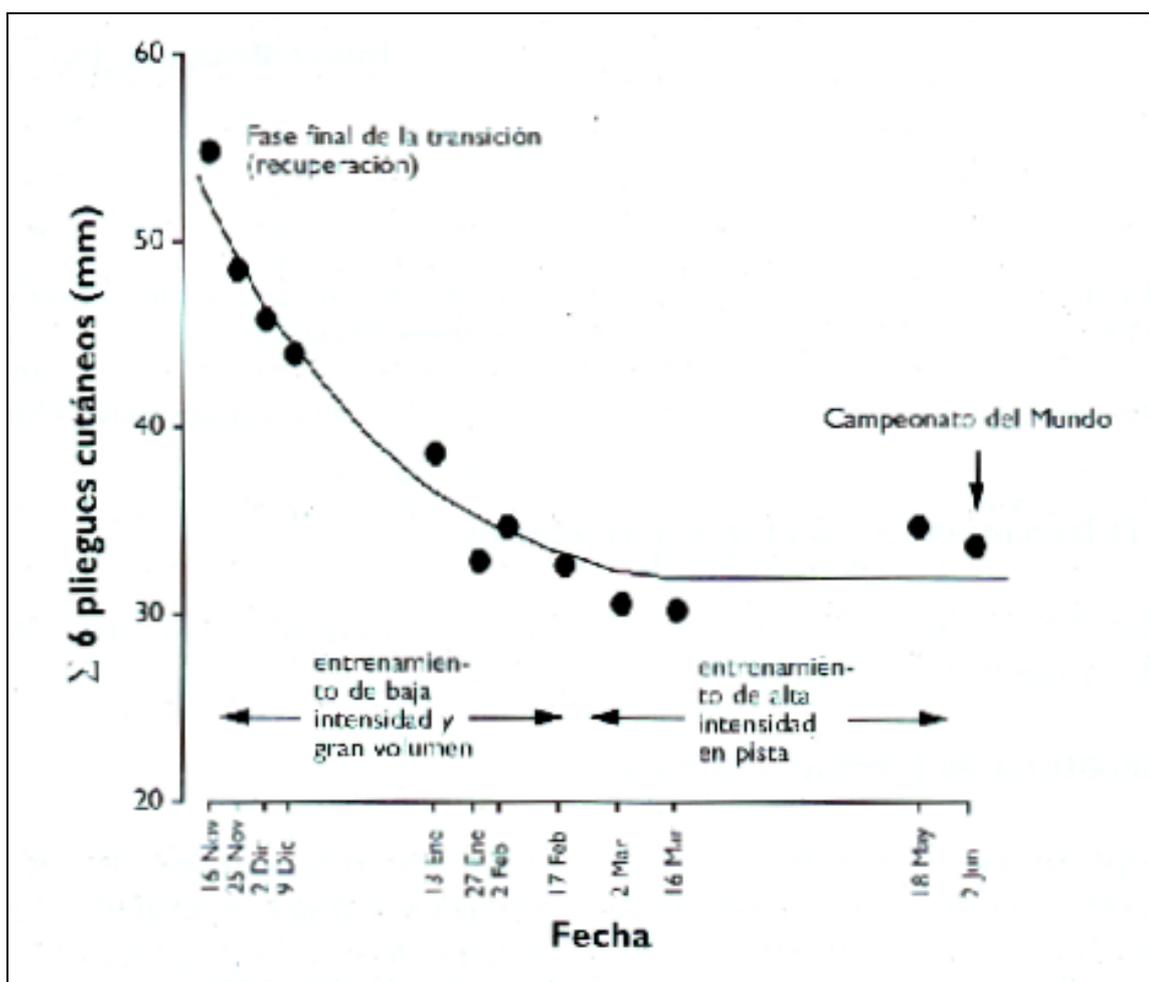
Los deportistas y los entrenadores involucrados en la competencia a nivel de élite reconocen la importancia de alcanzar la forma corporal específica, el tamaño y la composición necesarias para el máximo rendimiento. Uno de los aspectos de la preparación fisiológica de un deportista que es importante, y que tiene un bajo factor hereditario, es un óptimo nivel de grasa corporal (GC). Las influencias ambientales incluyen intervenciones de los científicos del deporte, del entrenador y del nutricionista, nivel y tipo de entrenamiento, y sincronización de estos factores con el fin de lograr una composición corporal ideal. En el

alto nivel de competencia es importante controlar con precisión los niveles de GC, ya que este componente corporal puede cambiar bastante rápidamente con relación a otras dimensiones y masas estructurales. Por lo tanto, es de particular preocupación para los científicos del deporte la medición y cuantificación de los niveles de GC. Las mediciones de los pliegues cutáneos son comúnmente utilizadas para estimar la adiposidad, y estas mediciones pueden luego ser utilizadas como base para el entrenamiento y las intervenciones alimentarias. El uso de la antropometría para controlar los niveles de grasa corporal es particularmente importante para el deportista comprometido en programas de disminución o aumento de peso. Por lo tanto, es fundamental que los procedimientos de evaluación y el manejo de los datos sean válidos. Si se pueden lograr estos objetivos, entonces las reediciones regulares de la GC ayudarán a asegurar que cualquier cambio en la masa corporal se deba a una disminución

o aumento del componente adecuado. Las evaluaciones antropométricas y el desarrollo de los perfiles fisiológicos o morfológicos ayudan a describir las características de los deportistas de élite en distintos deportes (Carter, 1984; Withers, Craig y cols., 1987), y en distintas etapas del ciclo anual de entrenamiento. A continuación, se presenta un ejemplo de qué manera las mediciones de los pliegues cutáneos han sido utilizadas para controlar el progreso de un deportista.

En este caso, un ciclista de nivel internacional (ganador de una medalla de oro en las Olimpiadas)

fue evaluado durante un período de casi siete meses, durante su preparación para los Campeonatos Mundiales. Estos datos aportan la base para la comparación futura, a medida que el atleta atraviesa el normal proceso cíclico anual del entrenamiento, que incluye períodos de transición, fase preparatoria, específica (pre-competitiva) y competitiva. Además son esenciales para determinar sí, y donde son posibles futuros cambios, y para entender la relación entre adiposidad y performance.



**FIGURA 17.** Sumatoria de seis pliegues cutáneos (tricipital, subescapular, bicipital, cresta iliaca, muslo frontal, y pantorrilla medial: ETM del evaluador para la sumatoria de 6 pliegues cutáneos = 0.9 %, CCI = 0.999), controlada durante un período de siete meses en preparación para la competencia en los Campeonatos Mundiales (N. Craig, datos no publicados).

Un alto nivel de GC tiene un efecto adverso sobre la performance en muchos deportes. Esto se ha probado experimentalmente cambiando artificialmente el peso del cuerpo (Cureton y cols., 1978; Cureton & Sparling, 1980; Hanson, 1973; Montgomery, 1982). Por ejemplo, luego de cargar a los sujetos con pesos adicionales, Cureton y Sparling (1980) observaron que el 30 % de la diferencia en el rendimiento de

carrera, entre hombres y mujeres, podía atribuirse a las diferencias en los niveles de GC. Las diferencias entre sexos en el  $VO_{2max}$ , cuando se expresaron en relación al peso corporal, disminuyeron un 65 % luego de que los niveles de GC: fueron equiparados, agregando peso a los varones.

La relación entre el peso corporal alterado y la performance ha sido utilizada durante décadas en el

negocio de las carreras de caballo. Se sabe que alterar el «peso corporal» cargando a los caballos (- 1.000 kg) con cargas penalizadas (hasta > 70 kg, incluyendo jockeys) perjudica la performance. De hecho, los correctores de apuestas determinan las probabilidades de las apuestas en base a una disminución estimada en la performance, normalmente en las longitudes corporales del caballo para cada kilogramo adicional colocado en el caballo. Por ejemplo, una disminución de 1.25 de largos del caballo por cada kilogramo adicional de peso es utilizada como base para ajustar la performance (Mauri Aho, Handicap Jefe del Jockey Club Australiano, comunicación personal, Julio de 1995).

Ya sea el evento principalmente aeróbico o anaeróbico, el aumento en la masa grasa (MG) será perjudicial para la performance. Por ejemplo, el requerimiento energético a cualquier velocidad determinada de carrera submáxima aumenta con los incrementos en el peso corporal a una tasa de casi 4 kJ por cada kg extra, por cada km de carrera. Es decir, en equivalentes aerobicos, el VO<sub>2</sub>, debe aumentar cerca de 0.2 Lt. O<sub>2</sub>/kg por cada km recorrido, debido a una mayor demanda necesaria para mantener el movimiento de una mayor masa. El efecto sobre la performance es particularmente obvio en deportes donde son fundamentales las proporciones entre la potencia aeróbica/anaeróbica y el peso corporal, tal como ocurre en los eventos de «endurance y en los juegos de campo. En deportes en los cuales son necesarias la velocidad o la potencia explosiva, por ej. en los juegos con pelota, piques y saltos, el exceso de grasa aumentará el peso corporal y disminuirá la aceleración (aceleración = fuerza/masa), a menos que se apliquen aumentos proporcionales en la fuerza. Esto puede no siempre ser posible, o aún deseable, particularmente en eventos en donde se utiliza algún grado de ritmo, por ejemplo en los 4.000 mt de

Ciclismo de persecución, o en los eventos de carreras de media distancia.

Una mayor MG también tiene un impacto sobre el Ap, lo cual es importante para todos los deportistas, particularmente en deportes tales como Ciclismo, Patinaje, Esquí y otros deportes que desarrollan grandes velocidades (Olds y cols., 1995; Quinney, 1990). Esto es así al margen de que el peso corporal es soportado en muchas e estas actividades. El grado en el cual los cambios en el Ap impactan en el rendimiento, se muestra en la Figura 7.

Olds y cols. (1993), usando un modelo matemático, han estimado que un aumento de 2 kg en la MG podría incrementar el tiempo de carrera de una prueba de Ciclismo de 4.000 mt de persecución aproximadamente 1.5 seg (20 mt), y una serie contra reloj de 40 km, en 15 seg (180 mt), La demanda energética del Ciclismo también se verá afectada por una mayor resistencia de rociado, la cual aumenta proporcionalmente con el peso corporal. Además, la energía cinética impartida al sistema bicicleta-ciclista durante la aceleración, a una tasa determinada, será mayor cuando más elevado sea el peso corporal. Por el contrario, la aceleración se reducirá si las mismas fuerzas son aplicadas por el atleta más obeso. El ascenso de pendientes o cuestas en el Ciclismo está particularmente afectado por el aumento del peso corporal, hasta el punto de que cada kilogramo de aumento en el peso (o grasa) corporal producirá una disminución en la performance, tal como se muestra en la 'Tabla 4.

En síntesis, el movimiento a una determinada velocidad o tasa de aceleración requerirá que las personas con sobrepeso trabajen a un mayor porcentaje de su VO<sub>2max</sub>, de lo que lo harían sin la MG adicional.

Pendiente (%)		Cambio en el peso del ciclista (kg)	
	0	+1	+5
0	100	100.2	100.9
0.5	106.4	106.7	107.7
1,0	113.6	113.9	115.4
2	130.5	131.1	133.8
5	201.7	203.6	211.2

**TABLA 4.** Cambios en los tiempos de rendimiento en Ciclismo en una prueba de 40 km contra reloj, en función tanto del peso corporal agregado como del aumento en la pendiente del terreno. Los resultados son expresados como un cambio relativo (%), en comparación con el rendimiento basal (100 %). Olds y cols. (1993; 1995) llevaron a cabo simulaciones del rendimiento en Ciclismo utilizando modelos matemáticos.

### 2.6.1 Consideraciones fisiológicas

La capacidad de trabajo disminuye con una mayor adiposidad debido a la incapacidad de la grasa, la que actúa como un peso muerto. La grasa en sí no tiene influencia sobre las capacidades de los sistemas cardiovascular y respiratorio para llevar oxígeno a los músculos, durante el ejercicio.

La MG adicional normalmente está asociada con una disminución en el cociente entre la superficie corporal y el peso (SC/peso). Debido a que el calor generado por el aumento en el metabolismo de los músculos activos debe eliminarse a través de la evaporación, la convección y la radiación, el cociente SC/peso tiene gran significado en la eficiencia de disipación del calor. Los deportistas con sobrepeso están en desventaja en los ejercicios de larga duración ya que tienen una menor tolerancia al calor que sus pares más magros, principalmente debido a las diferencias en el cociente SC/peso (Pyke, 1981). Cuanto mayor es el cociente (lo que es más evidente en la persona magra), más efectiva es la eliminación de calor cuando la temperatura ambiental es menor a la de la piel. Además, debido a diferencias en el contenido de agua, la cantidad de energía calórica necesaria para elevar la temperatura de una determinada masa de tejido adiposo por una cantidad establecida (calor específico) es menor que la de la masa magra (MM). Se han llevado a cabo numerosos estudios para determinar el calor específico e distintos tejidos del cuerpo (Minard, 1970). Las estimaciones de calor específico de todo el cuerpo han variado desde 2.68 J.gr<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> para una persona muy obesa, hasta 3.39 J.gr<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup> para una persona magra, las que tendría un mayor contenido relativo de agua (Minard, 1970). Por lo tanto, una determinada carga de calor por unidad de masa corporal elevará más la temperatura corporal en el individuo obeso que en el magro. Esto es importante ya que aproximadamente el 75 % de toda la conversión de energía dentro del cuerpo

eventualmente es eliminada como energía calórica (Astrand & Rodahl, 1986). Para recalcar esta realidad, consideremos el siguiente ejemplo, utilizando estos extremos. Dos personas de 70 kg, una con sobrepeso y la otra magra, realizan el mismo esfuerzo, es decir, consumir 4 lt O<sub>2</sub> por minuto durante 2 hs. de carrera. Esto generaría suficiente calor (1 lt O<sub>2</sub> = 21 kJ energía x 0.75 carga calórica) para elevar sus cuerpos hasta casi 40 °C y 32 °C, respectivamente. Sin embargo, debido a que obviamente ellos regulan sus temperaturas en algún grado inferior (digamos 40 °C), esto significa que la persona obesa debe disipar cerca del 20 % más de calor (y por lo tanto, 20 % más de sudoración, suponiendo que todo se elimina a través de la evaporación) que su compañero magro, con el fin de mantener la misma temperatura corporal.

Eventualmente, en la persona obesa, la calidad (deterioro de la destreza) y la cantidad (capacidad máxima de los sistemas energéticos) de rendimiento se verán disminuidas debido a un elevado metabolismo anaeróbico y al «stress» por calor.

### 2.6.2 Patrones del peso corporal y niveles de grasa

Existen grupos específicos de deportistas que muestran patrones característicos de composición corporal y control del peso (Brownell, Nelson, Stern, & Wilmore, 1987; Fogelholm, 1994). Hay una considerable cantidad de datos que demuestran que la GC y otras masas corporales se conforman según patrones predecibles para deportistas específicos, así como para posiciones específicas dentro (le los deportes (Holly, Barnard, Rosenthal, Applegate, & Pritikin, 1986; Sinning, 1985; Soares y cols., 1986; Telford, Tumilty, & Damm, 1984; Wilmore, 1983). En las Figuras 18 y 19, se discuten estos patrones de GC en relación a los datos de pliegues cutáneos, presentados para deportistas varones y mujeres de alto rendimiento.

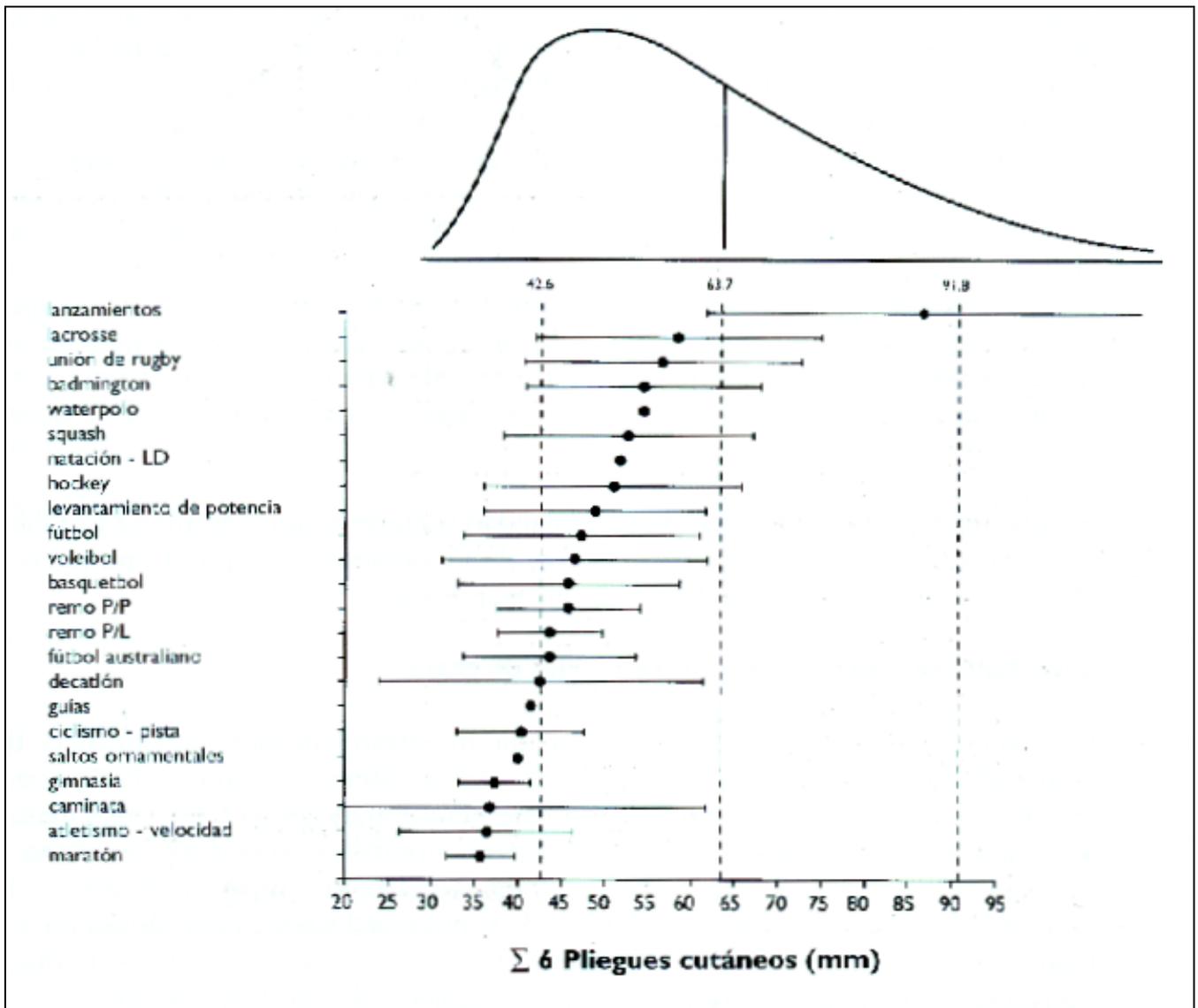
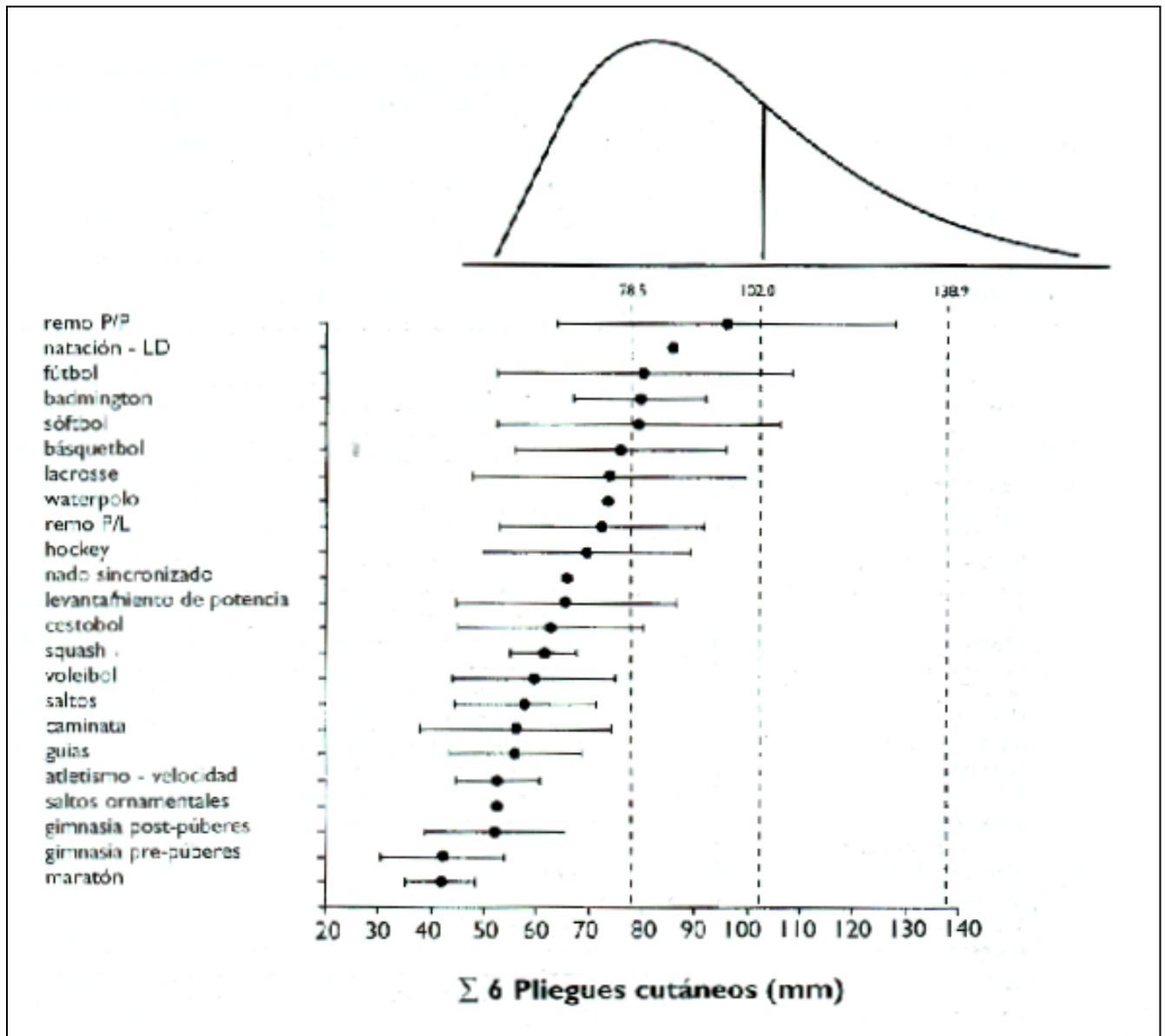


FIGURA 18. Sumatoria de seis pliegues cutáneos (media +/- DS) en deportistas varones, en un rango de deportes, en relación a un grupo de referencia de no deportistas.

El grupo de referencia fue tomado de los datos presentados por DASET (1992). Los pliegues cutáneos son: tricipital, subescapular, bicipital, supraespinal, abdominal, y pantorrilla medial. Observar que la distribución de datos de los pliegues cutáneos tiene una desviación positiva. Los valores de la mediana y los rangos intercuartiles (marcados por líneas de punto) se muestran como referencia.



**FIGURA 19.** Sumatoria de seis pliegues cutáneos (media +/- DS) en deportistas mujeres, en un rango de deportes, en relación a un grupo de referencia de no deportistas.

El grupo de referencia fue tomado de los datos presentados por DASET (1992). Observar que la distribución de datos de los pliegues cutáneos tiene una desviación positiva. Los valores de la mediana y los rangos intercuartiles (marcados por líneas de punto) se muestran como referencia.

Estos y otros grupos de deportistas pueden ser someramente clasificados en las siguientes categorías, según su nivel de grasa corporal:

### Niveles bajos de grasa corporal

Dentro de este grupo de deportistas magros se encuentran las siguientes subdivisiones, basadas en el control del peso corporal:

- Deportistas en eventos con categorías por peso que necesitan "alcanzar un peso" antes de la competencia. Los deportes en esta categoría incluyen el Yudo, las carreras de caballos

(jockey), el Boxeo, la Lucha Libre, las divisiones de Remo por peso, y el Karate.

Es normal que los deportistas en este grupo tengan bajos niveles de grasa corporal. En consecuencia, esto requiere la eliminación de fluidos corporales para reducir el peso y provoca que los deportistas se sometan a severos regímenes alimentarios y/o de deshidratación, inmediatamente antes de ser pesados. También es común que estos deportistas compitan en categorías de peso muy por debajo de su peso corporal natural. La práctica de utilizar regímenes de deshidratación rápida (1-6 días) para bajar de peso

(hasta en un 8 %) tiene implicancias obvias sobre la salud, que varían desde cambios en el metabolismo corporal total, actividad metabólica del tejido adiposo, función endocrina, y la distribución alterada de la grasa corporal (Brownell y cols., 1987). Además de los rápidos cambios de peso que pueden ser extremos (hasta 9 kg en una semana), algunos deportistas podrían someterse a estos cambios fluctuantes en el peso y en la composición corporal hasta treinta veces o más en cada temporada (Brownell y cols., 1987). Aparentemente, a pesar de tales efectos fisiológicos adversos con las series reiteradas de disminución rápida de peso, la potencia máxima en eventos que duran menos de 30 seg puede no verse afectada. De hecho, al menos un estudio ha observado que la potencia máxima específica para el peso ( $\text{Watt.kg}^{-1}$ ) aumentó luego de una deshidratación de hasta un 5 % del peso corporal (Jacobs, 1980). Sin embargo, debería destacarse que muchos deportistas se someten a disminuciones de peso mayores al 5 % del mismo, y que los tests de laboratorio normalmente no incorporan pruebas de habilidad, las cuales podrían verse adversamente afectadas (Klinzing & Karpowicz, 1986; Maffulli, 1992). Distintos estudios han mostrado una reducción en la calidad y cantidad de rendimiento en eventos que duran más de 30 seg, luego (le una deshidratación (Horswill y cols., 1990; Klinzing & Karpowicz, 1986; Webster y cols., 1990). Es posible que la combinación de una reducción en el flujo sanguíneo en los músculos y en la piel (Claremont y cols., 1976; Horstman y Horvath, 1973), en la tasa de sudoración (Sawka y cols., 1983), y las posibles alteraciones en las concentraciones de glucógeno muscular y de minerales (Horswill y cols., 1990) sean responsables de estos decrementos. Se debería mencionar que si bien la mayoría de los deportes con categorías por peso permiten que los deportistas se rehidraten luego de las sesiones de peso, no todos alcanzan los niveles normales de hidratación antes de la competencia.

- Deportistas que reducen el peso corporal y la masa magra principalmente por razones estéticas. Los deportes incluidos en esta categoría son Gimnasia, Aeróbica de Competición, Patín Artístico, Físicoculturismo, Saltos Ornamentales, y otros deportes en los cuales el puntaje está basado tanto en la apariencia como en la performance. Las reducciones de la GC también pueden ayudar al rendimiento.
- Deportistas que compiten con bajos niveles de grasa, específicamente para mejorar el

rendimiento físico. Este grupo incluye deportistas en deportes en los cuales una masa grasa baja es la norma. Por ejemplo, Voleibol, Fútbol Australiano, carrera de «sprints», saltos, y eventos de fondo como el Ciclismo, Triatlón, y Pedestrismo. Numerosos investigadores han observado un deterioro de la performance en estos eventos, a medida que aumentan los niveles de adiposidad corporal (Wilmore & Costill, 1987). Con frecuencia, también existe una relación inversa entre el nivel de competencia y el nivel de grasa corporal (Burke, Read, & Gollan, 1985), o con el nivel de triunfo o de éxito en el grupo de élite. Por ejemplo, se ha observado que los remeros de peso pesado que han tenido más éxito tienen valores más bajos en los pliegues cutáneos que los remeros que han tenido menos éxito deportivo (Hahn, 1990).

#### **Niveles moderados de grasa corporal**

Estos deportistas están relacionados con deportes tales como el Badminton, Tenis y otras disciplinas con Raqueta, Cricket, Beisbol, y Navegación, en los cuales la disminución de grasa podría ayudar para la aptitud física y la performance, pero generalmente los niveles de grasa corporal tienden a ser mayores que en muchos otros deportes. Por ejemplo, los competidores varones de navegación en las Olimpiadas de Montreal tuvieron una media de 16.4 % de GC (rango 13-24 % GC) entre los distintos eventos de navegación (Shepard, 1990). Los jugadores de Cricket de alto nivel de Australia tuvieron una media de 11 % GC, con algunos jugadores por sobre el 15 % GC (AADBBase, 1995).

#### **Niveles de grasa corporal superiores a la media**

Los deportes en esta categoría incluyen eventos de lanzamiento (Martillo, Disco, Bala) y deportes tales como Natación de «ultra endurance»

El exceso de grasa en los deportistas involucrados en eventos de lanzamiento podría ser perjudicial para la performance. Esto se debe a que la MG disminuirá la aceleración, particularmente cuando está localizada en las extremidades. Quizás, ésta es un área del deporte en la cual los competidores del futuro diferirán de los de hoy. Sin embargo, niveles extremadamente bajos de GC son raramente observados en combinación con una extraordinaria MM, siendo una excepción los físico culturistas de peso pesado (Fry y cols., 1991).

La baja densidad de la grasa brinda características de flotabilidad que son ventajosas para los nadadores de

aguas abiertas (canal, río u océano), suponiendo que se tiene una adecuada masa muscular que aporte las suficientes fuerzas propulsoras. Además, la grasa brinda un aislamiento contra el agua fría (Holmer & Bergh, 1974). Se ha sugerido que los niveles más elevados de grasa corporal en las nadadoras competitivas mejora su eficiencia (consumo de  $O_2$  por unidad de distancia), con respecto a los varones, debido a una elevación del cuerpo fuera del agua y una correspondiente reducción de la resistencia hidrodinámica (Pendergast y cols., 1977). Podría interpretarse que todos los nadadores tienen una tendencia hacia la adiposidad. Sin embargo, quizás la respuesta más definitiva a esta interpretación se observa en los datos antropométricos descriptivos recolectados en nadadores de élite (Mazza y cols., 1994). Los datos recolectados durante el Campeonato Mundial de Natación, en 1990, muestran que todos los grupos de nadadores varones tienen bajos niveles de adiposidad, determinados por la sumatoria de seis pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespal, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial) igual a 41.8 +/- 9.1 mm para los especialistas de 1.500 mt, y 60.3 +/- 13.6 mm para los nadadores de aguas abiertas. En las mujeres, la sumatoria de los seis pliegues varió desde 62.3 +/- 6.7 mm para el grupo de 800 mt hasta 104.6 +/- 29.8 mm para las nadadoras de larga distancia (Mazza y cols., 1994).

En los eventos más largos de la Natación, la grasa sirve para mejorar la performance en dos formas. En primer lugar, la grasa da una mayor flotabilidad al nadador y contribuye a mejorar la eficiencia disminuyendo la resistencia hidrodinámica. En segundo término, la hipotermia es un problema que potencialmente puede poner en peligro la vida en los eventos de Natación de <endurance>. Para eliminar el calor del cuerpo se debe pasar por dos gradientes térmicos, desde el interior a la piel ( $T_i - T_p$ ), y desde la piel al agua ( $T_p - T_a$ ). El gradiente  $T_i - T_p$  es el que más está influenciado por la grasa corporal, particularmente por las reservas subcutáneas de grasa (Nadel y cols., 1974). Por lo tanto, se necesita una capa más gruesa de grasa como aislación térmica para preservar el calor corporal en el agua, a pesar de las elevadas tasas de producción de calor durante la competencia (cerca (le 6-10 veces los niveles de reposo). Pugh y colaboradores (1960) calcularon que una capa de 1 cm de grasa subcutánea (casi el grosor promedio en el cuerpo en los nadadores varones de aguas abiertas) es capaz de mantener una diferencia cercana a 1.7 °C; entre el interior y el agua circundante ( $T_a = 16$  °C), cuando el flujo de sangre en la piel ha sido significativamente reducido debido a

una fuerte acción vasoconstrictora. Cuando la producción de calor se eleva 10 veces de los niveles de reposo, se estima que la misma capa de 1 cm mantiene una diferencia de 10 veces en temperatura entre el interior del cuerpo y el agua circundante.

Se han llevado a cabo tanto estimaciones teóricas como mediciones experimentales del segundo gradiente térmico ( $T_p - T_a$ ). El coeficiente de transferencia de calor por convección determina el flujo de calor entre el cuerpo y el medio ambiente circundante, de la siguiente manera:

$$C_c = \frac{\dot{E}}{\Delta T x SC}$$

donde:

$C_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección ( $W \times m^{-2} \times$

$E$  = Energía en un momento determinado (Watt)

$\Delta T$  = Diferencia entre la temperatura media de la piel y del agua (°C)

$SC$  = área de superficie corporal ( $m^2$ )

Nadel y cols. (1970) han calculado que el  $C_c$  en aguas quietas es más de 200 veces mayor que el aire sin movimiento, bajo condiciones promedio de agua y temperatura. Debido a que la superficie corporal está incluida en la ecuación, los deportistas con menores cocientes  $SC$ /peso son adecuados para eventos de natación de larga distancia, particularmente en aguas frías.

La grasa subcutánea brinda un efecto de amortiguación en caídas fuertes y colisiones corporales en deportes como el Fútbol Australiano y el Rugby, pero podría ser perjudicial para la performance debido a las razones mencionadas anteriormente. Por lo tanto, es característico que los deportistas de alto rendimiento en estas disciplinas tengan bajos niveles de GC (Withers, Craig y cols., 1987). En sí, un elevado peso corporal «per se» es indudablemente de gran significancia en eventos tales como en los luchadores de Sumo, y posiblemente en ciertas posiciones (por ej., líneas defensivos) en el Fútbol Americano, suponiendo que también se tenga una fuerza adecuada.

### 2.6.3 Entrenamiento y factores hereditarios

Si bien se sabe que el nivel de GC tiene una considerable base genética, sigue siendo el

componente que más responde al entrenamiento y a las intervenciones alimentarias. Bouchard y Lortie (1984) indicaron que el factor hereditario para la adiposidad corporal, evaluada a través de mediciones de pliegues cutáneos, era aproximadamente de 0.55. Resúmenes más recientes de los mismos autores sugieren ahora un factor hereditario para el porcentaje de grasa cerca del 25 % para la herencia biológica con un 30 % adicional a partir de la herencia cultural (Bouchard & Perusse, 1994). Si bien explican una proporción significativa de la variancia en la adiposidad, se ha mostrado que el entrenamiento y la dieta, ya sea solos o en combinación, tienen profundos efectos sobre el nivel de adiposidad en algunos individuos (ver Capítulo 12).

### 3. EVOLUCION DEL TAMAÑO CORPORAL DEL SER HUMANO

Los cambios en el tamaño corporal de los deportistas necesitan ser considerados en el contexto de continuas modificaciones de las dimensiones corporales, dentro de la población general. Por lo tanto, discutiremos sobre la evolución relativamente reciente del tamaño del ser humano antes de concentrarnos en los datos deportivos.

La distribución observada de la altura y del tamaño corporal dentro de cualquier población se debe a una combinación de factores, tanto ambientales como genéticos. Estos representan la culminación de las influencias evolucionarias hasta ese momento, por ejemplo las condiciones climáticas, o altura, y la estabilidad del polo genético. En conjunto, estos factores determinan las características morfológicas y fisiológicas actuales de una población.

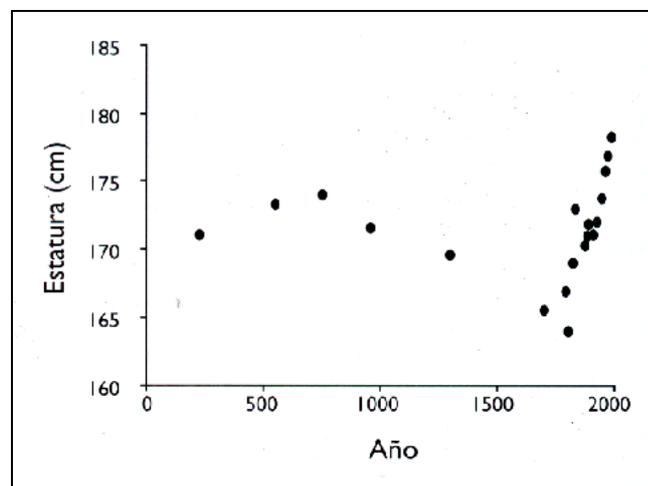
Los cambios con el tiempo en las distribuciones de las dimensiones corporales se deben, principalmente, a factores ambientales, y en menor grado, a las influencias genéticas. Entre los factores ambientales se encuentran el estado nutricional de la población y la prevalencia de enfermedades graves o epidemias. Por ejemplo, el análisis de huesos excavados de individuos adultos que vivieron durante los últimos dos milenios ha dado una explicación bastante clara de las fluctuaciones en la altura del ser humano, desde tiempos bíblicos (Kunitz, 1987), tal como se muestra en la Figura 20.

Estos estudios sugieren que nuestra estatura (predominantemente Europea) ha fluctuado considerablemente durante este período. Es debido a

este patrón de cambio en las dimensiones corporales que los registros de la estatura humana sean tan vulnerables en ciencias tan diversas como Medicina, Antropología y Economía.

Como especie, los seres humanos nunca han sido mayores en nuestra historia (hasta lo que podemos decir). Nuestra presente estatura es resultante de una explosión de crecimiento sin precedentes a partir de la mitad del Siglo 19. Esencialmente, se ha sabido, durante al menos por un siglo, que los seres humanos están aumentando en tamaño en generaciones sucesivas. Este fenómeno es denominado «tendencia secular». Si bien no se conocen las razones exactas de la tendencia secular, podría deberse a una mejor nutrición, a intercambios entre poblaciones geográficamente diversas previamente, a procesos de inmunización de gran escala, al fin de la revolución industrial, a la urbanización, y a un rango de otras razones menos probables, incluyendo la influencia de uniones variadas y selectivas, y a cambios en la temperatura y la humedad mundial (Floud, Wachter, & Gregory, 1990).

Si bien no se sabe si esto es causa o efecto, ha habido una disminución casi lineal en la edad de la menarca en muchos países durante los últimos 150 años. La Figura 21 muestra este fenómeno.



**FIGURA 20.** Cambios en la estatura en los seres humanos durante los últimos 2000 años.

Los datos fueron recolectados utilizando excavación arqueológica y registros históricos. Para cada punto mostrado hay entre 36 y 10.863 sujetos utilizados. Datos extraídos de: AADBase, 1995; DASET, 1992; Kunitz, 1987; Meredith, 1976; NSW Department of Public Health, 1955; Roth & Harris, 1908.

A pesar de que no ha habido una explicación adecuada para este cambio es posible que las niñas requieran un cierto tamaño corporal para iniciar los cambios fisiológicos y estructurales que acompañan a

la menarca. Por ejemplo, utilizando la ecuación de regresión presentada en la Figura 21 y los datos de tendencia secular (abajo), el tamaño medio (por ej., estatura, reflejando la maduración) de las niñas en la edad de menarca, al final del siglo, es casi idéntico que el tamaño de las niñas actuales, más jóvenes, que alcanzan la menarca (en promedio, cerca de 150 cm). También es interesante observar que el ejercicio físico parece retrasar el comienzo de la menarca (Malina, 1982; Ross y cols., 1976) mientras que la inactividad en deportistas jóvenes (debido a lesiones) podría acelerar la maduración (Ross & Marfell-Jones, 1991). A pesar del retraso de la menarca, los datos actuales sugieren que no hay una influencia de la actividad física y el entrenamiento crónico sobre el crecimiento final de la altura (Malina, 1994). Los datos con niños Australianos, recolectados a intervalos en este siglo, muestran la tendencia secular de la estatura.

Se ha argumentado, y una considerable cantidad de datos respaldan esta idea, que la tasa de cambio en la estatura en el mundo occidental se ha frenado en la mayoría de los países (Tanner, 1978). Se pensaba que este retraso de la tendencia secular había comenzado durante el período 1960-1970. Sin embargo, los datos presentados en las Figuras 22 y 23 sugieren que la tendencia secular para la altura en Australia no está estabilizada. Los datos combinados muestran un incremento lineal en la estatura (variando las correlaciones entre 0.970 y 0.999 para los grupos por edad individual y por sexo) el cual promedia 1.23 cm por década para las mujeres y 1.33 cm por década para los varones. Por lo tanto, aparentemente la tasa total de cambio en la altura es relativamente constante, y así ha sucedido desde al menos la primera parte de este siglo.

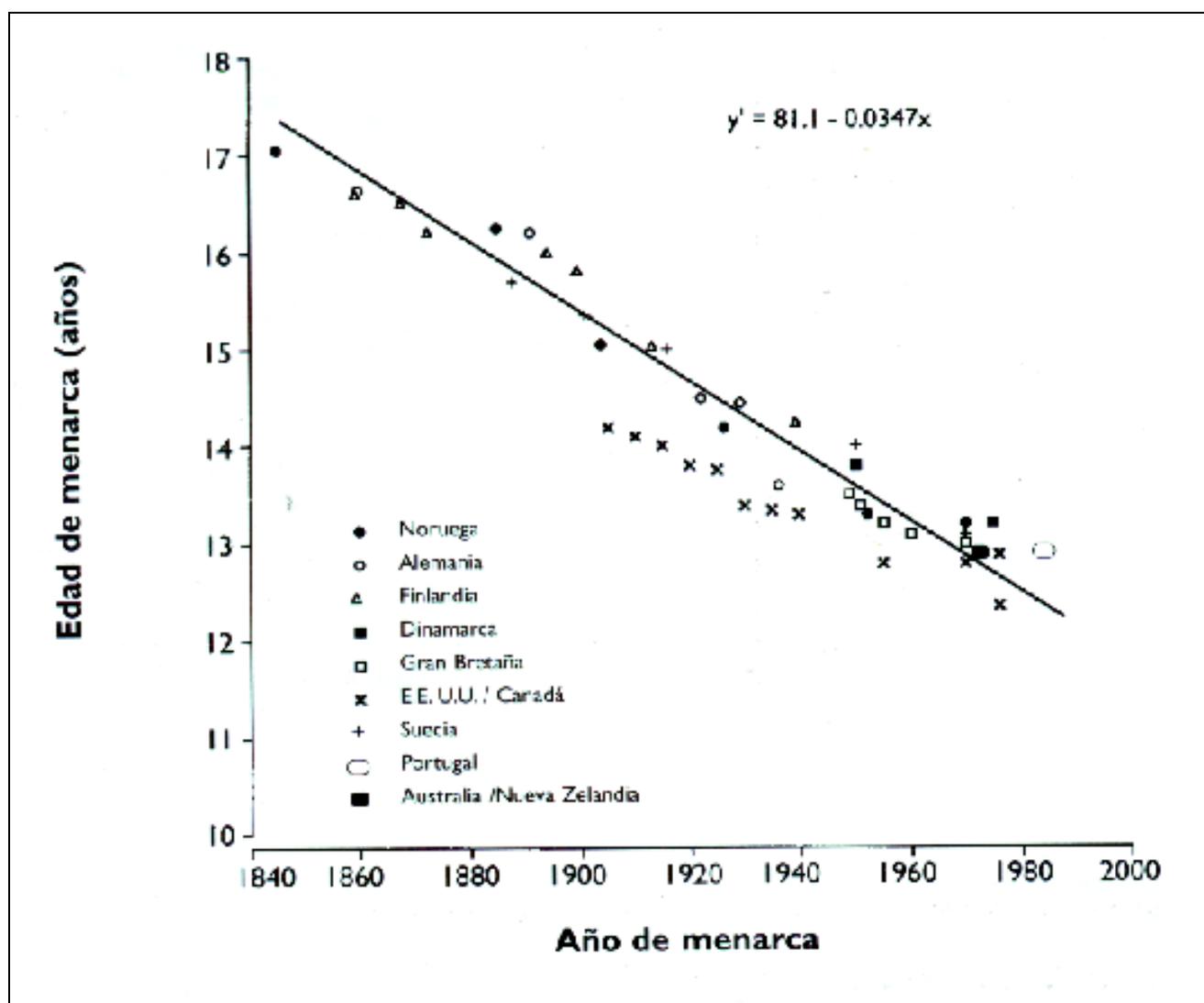


FIGURA 21. Edad de menarca, en función del año de menarca, de niñas en distintos países durante los últimos 150 años.

Los datos fueron recogidos de Jokl, 1976; Ross y cols., 1976; Sobral y cols., 1986 y Tanner, 1978.

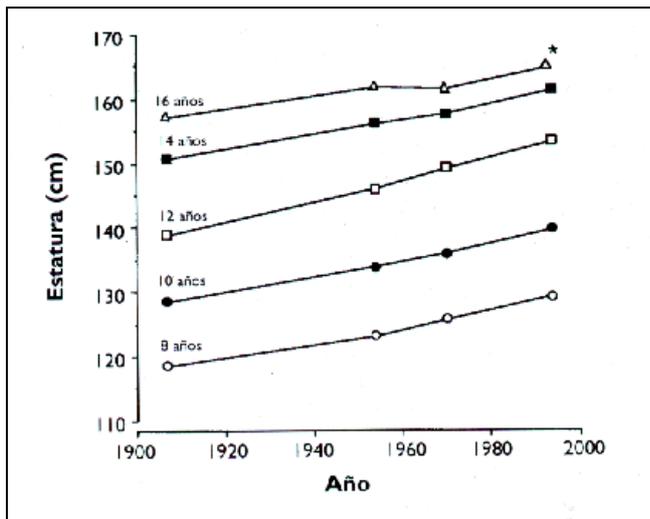


FIGURA 22. Altura en mujeres, entre 8 y 16 años, desde 1906.

- Estatura media en mujeres de 16 años, obtenida de DASET (1992).

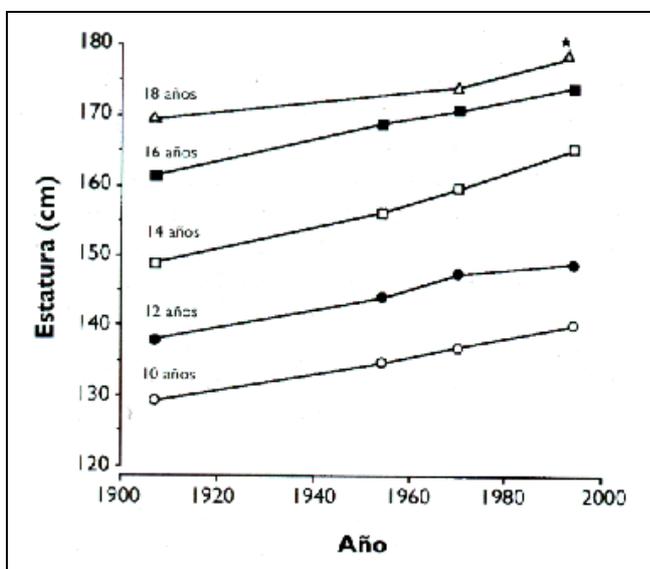


FIGURA 23. Alturas en varones, entre 10 y 18 años, desde 1906.

- Estatura media en varones de 18 años, obtenida de DASET (1992)

Las Figuras 22 y 23 han sido producidas utilizando resúmenes de datos recolectados en niños de las escuelas de Sidney (o en edad escolar), a lo largo de todo este siglo: (Gard, 1995; Meredith, 1976; NSW Department of Public Health, 1955; Roth & Harris, 1908).

### 3.1 Evolución del tamaño corporal de los deportistas

El tamaño corporal de los deportistas ha sido de gran interés dentro de la población general (por ej., Johnson, 1974; Sachare, 1994). Es común encontrar estadísticas sobre los tamaños de los jugadores en revistas deportivas semanales. Las alturas y los pesos de los jugadores son elementos fundamentales utilizados en el reclutamiento y selección, son tema de

permanente discusión en los medios de comunicación, y principalmente influyen en la performance. Sin embargo, en la discusión científica de la evolución de registros deportivos ha habido sólo ocasionalmente mención sobre la alteración en el tamaño, forma, y composición de los deportistas que participaban en diversas disciplinas (Ackland y cols., 1994; Cox y cols., 1995; Wang, Downey, Perko, Yesalis, 1993). Hay poco cuestionamiento de que el diseño de los equipos, las estrategias de entrenamiento, las mayores oportunidades de competencia, y los avances tecnológicos hayan sido importantes en la contribución de performances record. Sin embargo, igualmente nosotros sugerimos que la evolución de los tipos corporales con frecuencia ha sido ignorada, y fue instrumental en el establecimiento de la mayoría de los records actuales.

Debería recalarse que muchos eventos no tienen records mundiales, como sucede, por ejemplo, con los deportes de equipo, deportes con raqueta, y otros deportes no Olímpicos. En estos casos no es fácil determinar el grado de evolución de los cuerpos de los deportistas. La tarea es aún más difícil de cuantificar ya que no hay suficiente información sobre el tamaño de los jugadores, anterior a los últimos 30 o 40 años. Cuando se disponen de datos históricos sobre deportistas, son importantes ya que no sólo reflejan el tamaño del jugador en momentos específicos de la historia, sino que pueden ser utilizados para evaluar las necesidades de evolución del tamaño corporal en deportes en particular, y predecir los tamaños de los jugadores futuros. Los datos con deportistas también son importantes ya que podrían, con algunas presunciones, utilizarse como base para estimar la tendencia secular en la población general, cuando no hay datos o los hay pocos. Estas comparaciones tanto dentro como entre grupos deportivos y no deportivos podrían revelar patrones singulares de alteraciones en el tamaño corporal con el tiempo, lo cual puede estar relacionado con otros aspectos de la vida deportiva tales como el entrenamiento, la manipulación alimentaria, las modificaciones en los reglamentos, y otras intervenciones como el uso de drogas. Nosotros sugerimos un modelo para clasificar los deportes, de acuerdo a los tipos de jugadores que probablemente se seleccionen en el futuro. Este modelo está basado en consideraciones teóricas de los deportes de hoy, junto con datos disponibles a partir de la literatura con deportistas, a lo largo de numerosas generaciones. Existen cuatro grandes grupos de eventos deportivos que nosotros utilizamos para describir nuestro modelo, combinando la optimización morfológica y la evolución de los seres humanos (deportistas y no

deportistas). Estos son: optimización con límite superior abierto, optimización relativa, optimización absoluta, y optimización con límite inferior abierto. Estos modelos de clasificación son presentados en la

Figura 24. Cada uno de estos modelos será discutido individualmente, utilizando ejemplos a partir de distintos deportes.

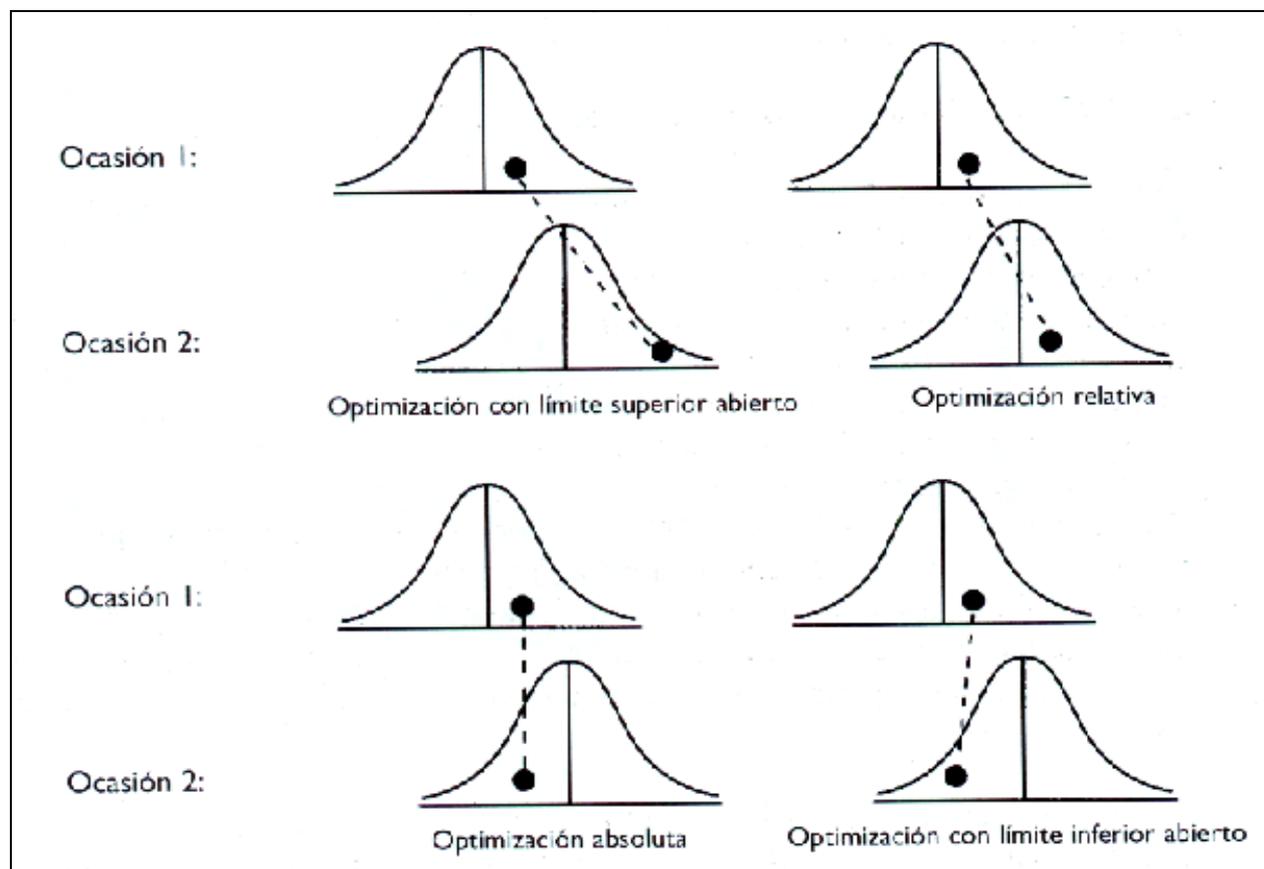


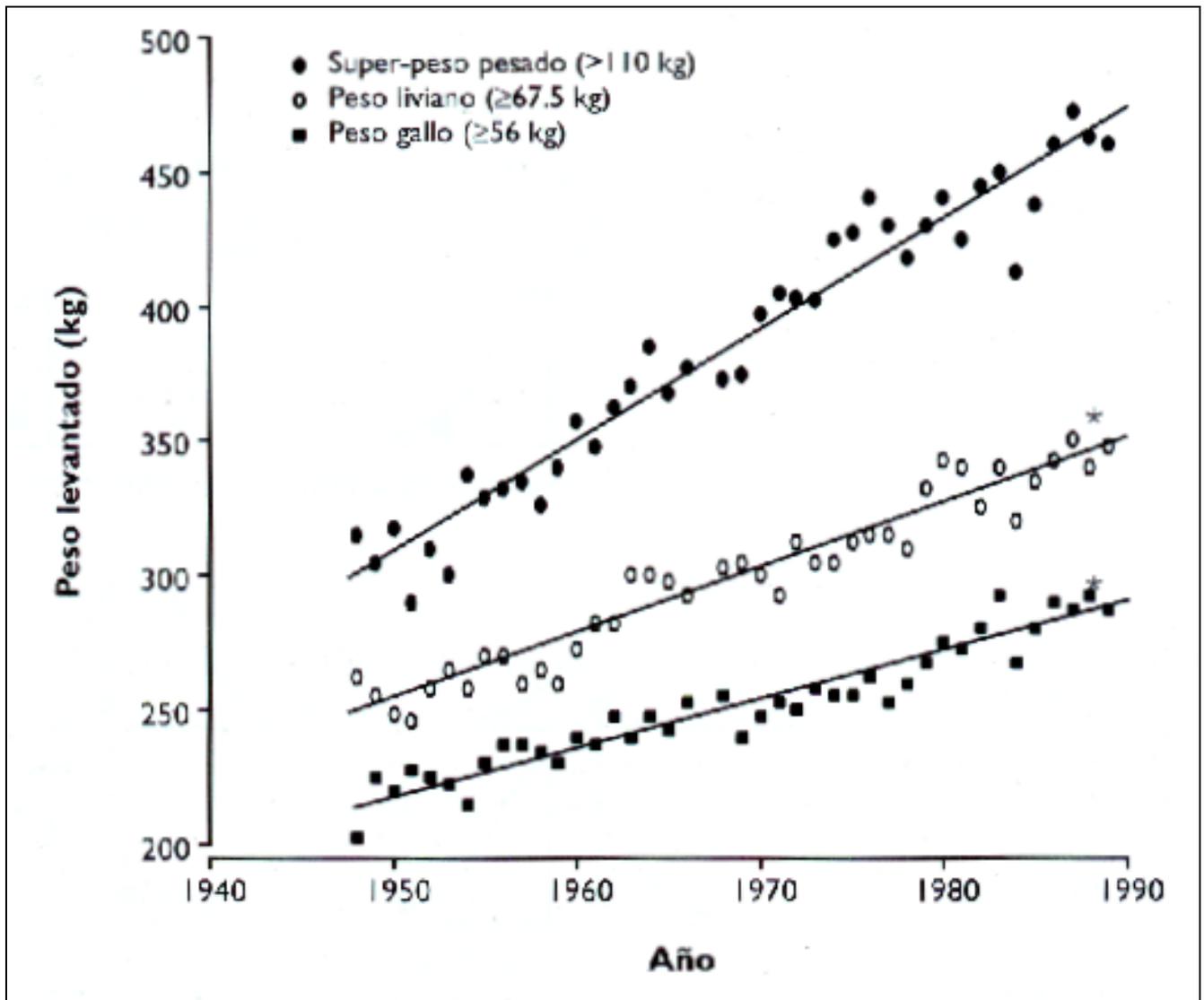
FIGURA 24. Modelos de optimización morfológica con referencia al tiempo. Ver texto para detalles.

### 3.2 Optimización con límite superior abierto

Los deportes en esta categoría son aquellos en los cuales los deportistas con un mayor tamaño, o proporción absoluta o relativa, tendrán una ventaja en la competencia. Es decir, cuanto más grande mejor, siendo todas las otras variables iguales. Sólo hay algunos deportes; que se encuentran dentro de esta categoría, y son los que por lo general no requieren recorrer grandes distancias o ejercitar durante largos períodos de tiempo (sin descanso). También, estarán incluidos en este grupo los deportes que requieren que los deportistas venzan una resistencia externa, no humana. La optimización con límite superior abierto incluye deportes tales como Levantamiento de Pesas super-pesados, Lucha Sumo y Fútbol Americano, para atributos tales como el peso corporal;

Cestobol, Básquetbol y Remo de categoría peso pesado para la altura; Boxeo y Levantamiento de Pesas (en los dos extremos; en relación al cociente longitud extremidad superior/estatura, y Ap en Ciclismo. La Figura 2' muestra la consecuencia de un ejemplo de optimización con límite superior abierto. En este caso, se muestran las performances de levantamientos de super peso pesado, desde 1948, el relación a levantamientos dentro de categorías inferiores (cerradas) de peso.

El efecto de esta optimización con límite superior abierto es la aparición de deportistas con más de 160 kg, como el ruso Alexyev (Jokl, 1976). Los records mundiales para los super pesos pesados se han incrementado a una tasa aproximadamente del doble de lo observado en otras categorías de levantadores.

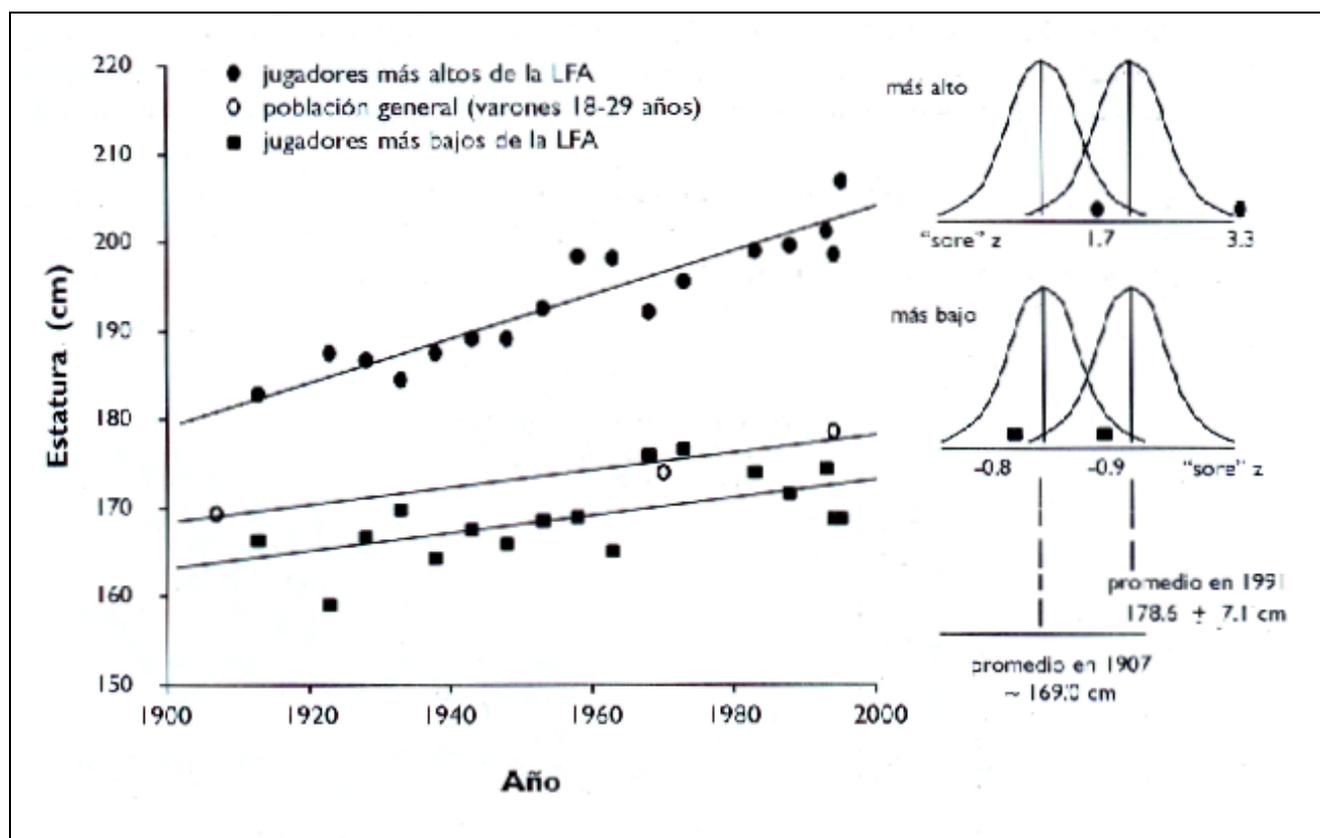


**FIGURA 25.** Relación entre el peso levantado durante los levantamientos de records mundiales y el año en que se logro; en tres categorías de peso.

Los datos fueron extraídos de: Jokl, 1976; Mathews & Morrison, 1990. Las ecuaciones son:  $y'$  super peso pesado =  $-7739.3 + 4.127x$ ;  $y'$  peso liviano =  $-4572.1 + 2.474x$ ;  $y'$  peso pluma =  $-3260 + 1.784x$ . (\*) Records posteriormente anulados por test positivo de doping.

Otro ejemplo puede encontrarse a través del análisis cuidadoso de los datos recolectados con jugadores de Fútbol Australiano (Olive, Norton, & Olds, 1994). Si bien hay poca información sobre el tamaño corporal de la población general de los Australianos adultos, anterior a las últimas dos o tres décadas, existe una considerable cantidad de datos disponibles con deportistas en tres de los principales tipos de Fútbol jugados en Australia (Fútbol Australiano, Liga de

Rugby, y Unión de Rugby). Se obtuvieron datos sobre el tamaño corporal (altura y peso) de los futbolistas a partir de numerosas fuentes, principalmente registros de archivos normalmente guardados por las organizaciones deportivas. En la Figura 26 se muestra el análisis para los «ruckmen» del Fútbol Australiano.



**FIGURA 26.** Relación entre las estaturas medias de jugadores de Fútbol Australiano y el año de juego.

Se muestran estos datos en relación a la población general de varones adultos jóvenes. Los 3 jugadores más altos y los 3 más bajos de la LFA fueron combinados para cada punto de datos en los grupos respectivos. Los datos son extraídos de los registros de la LFA (1994); DASET (1992), Meredith (1976); Roth & Harris (1908). El gráfico de la derecha muestra los «scores» z para los grupos de Fútbol en relación a la población general, cambiante en dos momentos de este siglo. La tasa exagerada de aumento en la altura de los jugadores más altos está representada por un mayor «score» z en la comparación más reciente con la población general ( $z = 3.3$  vs.  $1.7$ ).

Estos datos remarcan el cambio en la altura de los «ruckmen» en relación tanto a la población masculina de adultos jóvenes como a los jugadores más bajos, a lo largo de casi 100 años de historia de este juego. Los «ruckmen» están aumentando a una tasa más de dos veces más rápida que cualquiera de los otros grupos. Por ejemplo, el jugador más alto en la gran final de 1913 (182 cm), estaría ranqueado por debajo del percentil 30 vs. sus pares contemporáneos, cuando se considera todo el equipo. Un jugador de 182 cm sería casi 25 cm más bajo que la altura media de los tres «ruckmen» más altos de hoy. Esto refleja, quizás, la naturaleza específica de la posición, el hecho de que estos deportistas ahora puedan descansar más frecuentemente durante el partido, y el reclutamiento selectivo de jugadores altos. También significa que el «pool» potencial de «ruckmen» es mucho menor ahora que antes. Las predicciones para los futuros jugadores indican que para el año 2050 la media de los tres «ruckmen» más altos será aproximadamente de 221 cm (Olive y cols., 1994), alturas alcanzadas actualmente sólo por los centros en el Básquetbol.

La Figura 27 ilustra los cambios en el BMI (peso x altura<sup>2</sup>) durante el transcurso de este siglo, en las tres clases de Fútbol. También se presentan, a modo de referencia, los datos de jugadores de Fútbol Americano de escuelas secundarias.

Sobresalen dos características. En primer lugar, el BMI medio en las dos clases de Rugby ha aumentado a lo largo del siglo, indicando proporcionalmente mayores aumentos en el peso (presumiblemente mayor musculación) en relación a cambios en la altura. En segundo término, ha habido una aceleración dramática en el BMI entre los jugadores de Rugby desde los comienzos de la década de 1980. Probablemente sea que gran parte de este aumento se deba a un entrenamiento de fuerza-resistencia más prolongado y más intenso a lo largo de sus carreras, a medida que los jugadores fueron adoptando un nivel más profesional. También es posible que haya más jugadores que estén consumiendo drogas para mejorar el rendimiento, tales como anabólicos esteroides y hormona del crecimiento.

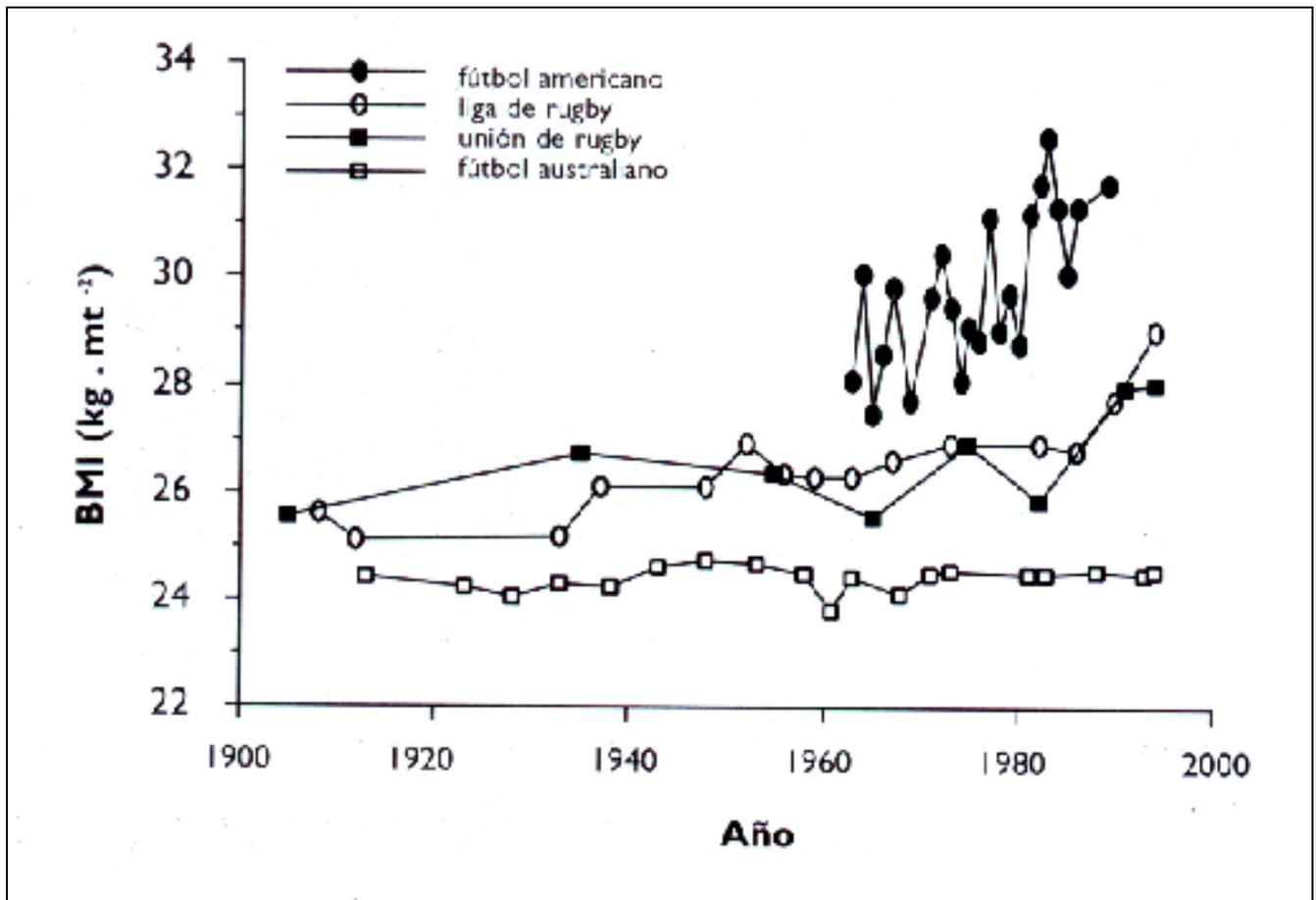


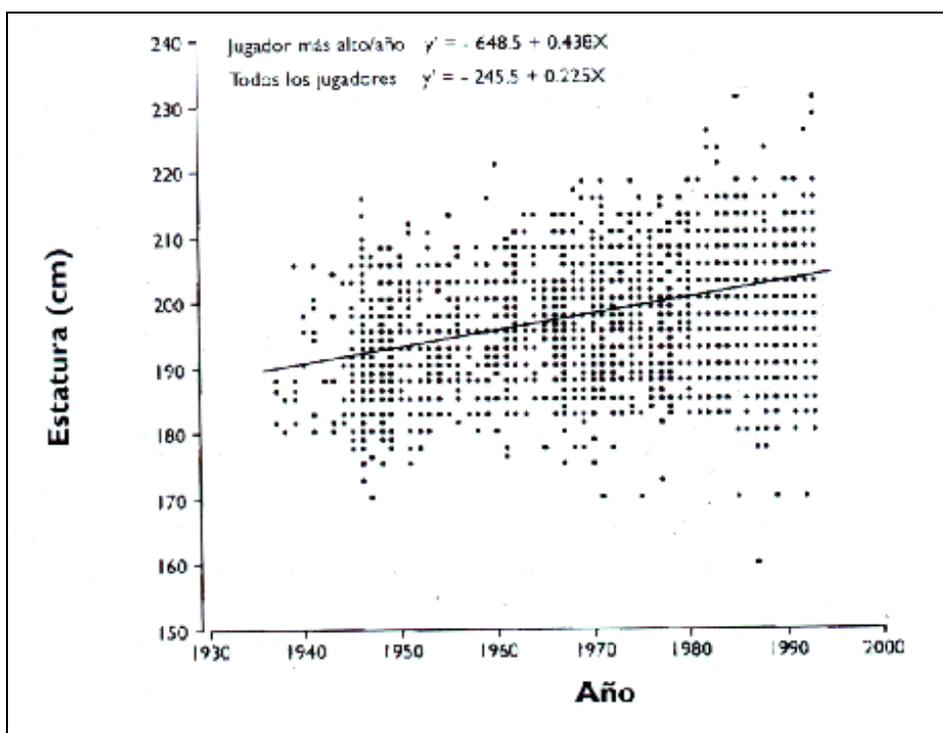
FIGURA 27. Relación entre el BMI promedio y el año de juego, para deportistas en cuatro clases de Fútbol.

Los datos de los jugadores de Fútbol Australiano fueron extraídos de registros oficiales de la LFV y LFA de equipos de gran final, a intervalos de 5 años (registros LFA, 1994); los datos de la Liga de Rugby fueron tomados de las estadísticas del NSWRL (registros de la LRA, 1994). Estos datos corresponden a jugadores representativos del Australian Kangaroo, a intervalos de 4 años. Los datos de la Unión de Rugby fueron extraídos de Pollard (1984) y de registros oficiales de la Unión Australiana de Rugby, posteriores a 1984 (registros de la UAR, 1994). Los datos de Fútbol Americano son de Wang y cols. (1993).

## Básquetbol

La Figura 28 muestra otro ejemplo de optimización con límite superior abierto. En este caso, se presenta la altura de cada jugador de la NBA desde 1945 (y algunos de temporadas anteriores). La ecuación de regresión indica que la tasa de cambio en la altura media de todos los jugadores ( $2.25 \text{ cm} \times \text{década}^{-1}$ ) es significativamente mayor que la de la población

general [cerca de  $1 \text{ cm} \times \text{década}^{-1}$  en los norteamericanos (Tanner, 1978)]. Además, la tasa de aumento en la altura para los jugadores más altos que se incorporaron a la NBA cada año ( $4.38 \text{ cm} \times \text{década}^{-1}$ ) es casi el doble que el incremento medio en la altura, y casi cuatro veces mayor que la de la población general. A esta tasa de incremento en la altura se predice que el primer jugador de 244 cm (8'0") podrá ser observado en la NBA hacia el año 2030.



**FIGURA 28.** Relación entre la altura de los jugadores de Básquetbol de la NBA, y el primer año de sus carreras profesionales. Datos de Sachare (1994),  $n = 2.826$ .

Como se remarcó anteriormente, existen implicancias asociadas con esta progresión de jugadores más grandes. Ya se han introducido algunos cambios en el juego por razones de seguridad, y para reducir la congestión en el mismo y las excesivas colisiones corporales. Por ejemplo, como destaca DuPree (1994), los sistemas de montaje hidráulico y los aros deformables fueron instalados para soportar jugadores de grandes dimensiones que se cuelgan de los mismos, y para evitar que se rompan los tableros. Además se recortaron 15 cm de la parte de atrás de los tableros para evitar que los jugadores golpeen sus cabezas mientras saltan y bloquean. También se han sugerido otros cambios como instrumentar canchas y pelotas más grandes, aros más pequeños y hasta disminuir el número de jugadores en la cancha.

Ackland y cols. (1994) reportaron que la altura media de jugadoras de nivel internacional había aumentado 3.1 cm, y su peso, 3.2 kg, durante la última década. A pesar de su mayor peso corporal las deportistas fueron además menos endomórficas, indicando una menor sumatoria de pliegues cutáneos, utilizados en los cálculos del somatotipo. Por lo tanto, la tasa de cambio relativa a la de la población general apoya la ubicación del Básquetbol, tanto masculino como femenino, en la categoría de optimización con límite superior abierto.

Hasta el presente no es posible dar una explicación precisa de esta tendencia que pareciera sin fin hacia

una optimización con límite superior abierto en distintos deportes, pero además de las influencias de la tendencia secular, podría estar relacionada con uno o más de los siguientes factores:

- Mayor selectividad en el reclutamiento (por ej., apuntando específicamente a jugadores más altos y/o más pesados, tal como en la NBA).
- La influencia de otros factores externos, tal como las mejores técnicas de entrenamiento de sobrecarga.
- El posible uso de drogas.
- La generación de un «pool genético» de deportistas grandes que resultan de la unión de deportistas entre sí.
- Internacionalización versus regionalización del deporte, donde las poblaciones potenciales son mucho más grandes para los deportes.

### 3.3 Optimización relativa

La optimización relativa se refiere a deportes en los cuales el tamaño óptimo del jugador aumenta aproximadamente en la misma proporción que en la población general. Debido a que la población general está aumentando en tamaño y en deportistas, y en promedio se mantiene el mismo número de DS con respecto a la media, los tamaños absolutos de los deportistas deben aumentar. La mayoría de los deportes que no tienen restricciones en cuanto a

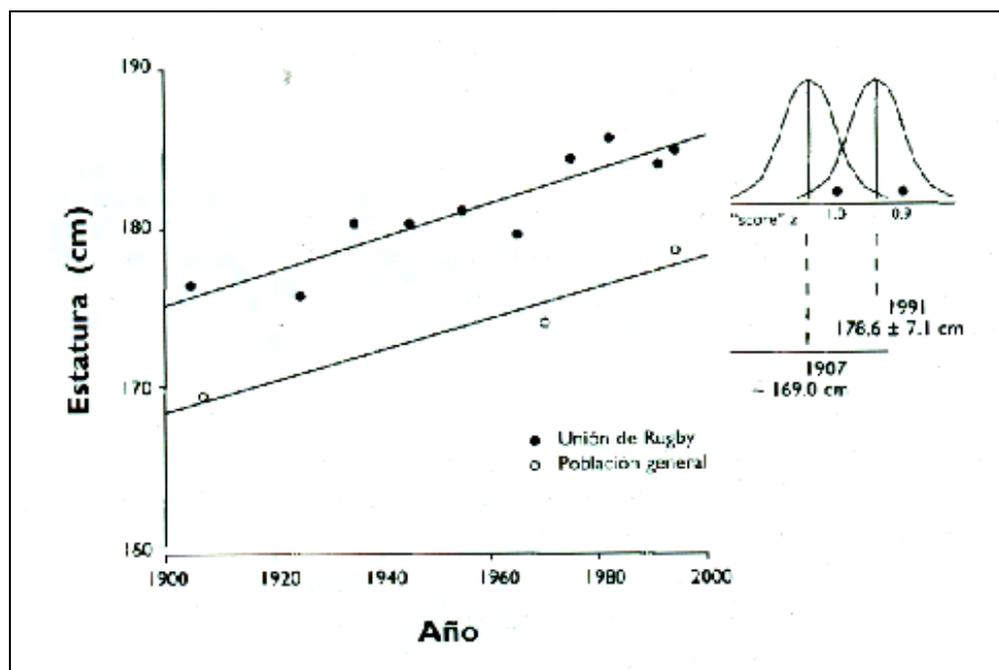
categorías por peso se encuentran dentro de esta categoría. Aquí presentamos varios ejemplos.

### Fútbol

En la Figura 26 se mostraba que los «ruckmen» en el Fútbol Australiano estaban aumentando fuera de proporción con respecto a la población general, pero los jugadores más pequeños estaban incrementando proporcionalmente a este cambio. Por lo tanto, los jugadores más pequeños están mostrando una optimización relativa. Esto indica que, suponiendo

que las variancias son las mismas, la misma proporción relativa de la población tiene la oportunidad de participar en el deporte hoy, tal como ha sido el caso en generaciones anteriores. Pueden encontrarse otros ejemplos revisando los datos de la Unión de Rugby y de la Liga de Rugby.

Por ejemplo, la altura media de los jugadores de la Unión de Rugby ha sido relativamente constante con referencia a la tendencia secular de la población general. Esto se muestra en la Figura 29.

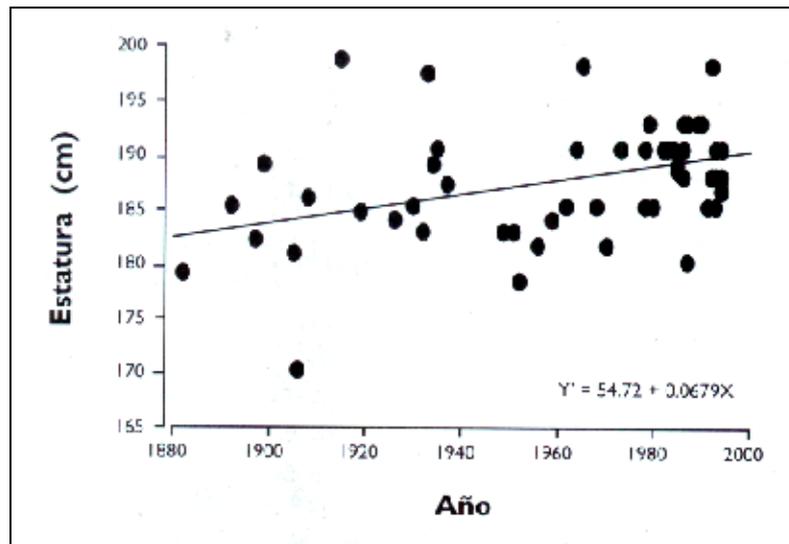


**FIGURA 29.** Relación entre la altura media de los jugadores de la Unión de Rugby y el año de juego, con relación a la altura de la población general en el mismo período. Los datos de la Unión de Rugby fueron extraídos de las fuentes mencionadas en el texto. Para datos de referencia, ver Figura 26.

### Boxeadores de peso pesado

Ford (1984) analizó los datos originalmente obtenidos por McCallum (1974) sobre el tamaño corporal de campeones mundiales de Boxeo peso pesado, entre 1889 y 1978. A pesar de la «expectativa inocente de que los deportistas más grandes y más fuertes hacen mejores boxeadores, el autor concluyó que las ventajas derivadas de una mayor potencia muscular absoluta, en los boxeadores más grandes, no son tan grandes como las desventajas de la disminución en la velocidad y agilidad. Utilizando los datos de McCallum, Ford concluyó que sólo tres boxeadores pesos pesados en la historia tuvieron una altura mayor a 189.2 cm, defendiendo los tres el título no más de una vez. Sin embargo, nosotros volvimos a analizar la serie completa de datos desde 1882 hasta 1994 (Ballarati, 1994; Goldman, 1986; Ford, 1984; Mullan,

1995), y observamos que, en promedio, el campeón moderno es en realidad más alto y más pesado que sus predecesores de comienzos de siglo. La diferencia entre la altura media (de los boxeadores y la del hombre adulto en la población general es de casi 2 DS (178.6 versus 191 cm). El hecho de que la tasa de cambio de los campeones de Boxeo no sea diferente de la tasa de cambio de la población general (el IC 95 % para la pendiente inferior de la línea de boxeo es + 0.029 cm x década<sup>-1</sup>), resulta en la tendencia secular de tamaño corporal de la población general, presentando un «pool» potencial relativamente constante de boxeadores de peso pesado. Estos datos sugieren además, que el tamaño por si sólo no es necesariamente una ventaja en el boxeo. Quizás, el intercambio de tamaño por velocidad y aceleración podría ser particularmente importante en este deporte.



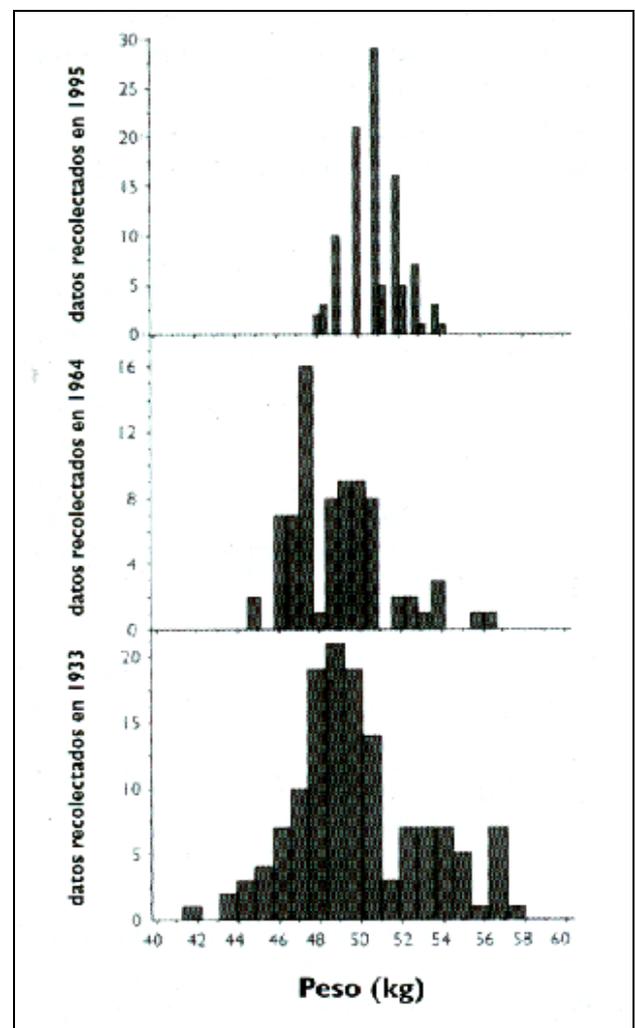
**FIGURA 30.** Relación entre la altura de los campeones de Boxeo en la categoría peso pesado (se han incluido campeones no disputados, de IBC, WB(1, y WBF) y el año en que ganó el título. Datos de Ballarati (1994), Ford (1984), Goldman (1986), y Mullan (1995).

### 3.4 Optimización absoluta

#### Jockeys

El tamaño promedio del jockey no ha cambiado mucho en la mayor parte (le este siglo. El peso corporal promedio +/- DS en 1933 (n= 138) era de 49.9 +/- 3.3, en 1964 (n= 77) de 48.9 +/- 2.3, y en 1995 (n= 103) de 51.0 +/- 1.4 kg (registros del JCA, 1933, 1964; Jenkins, 1995). En la Figura 31 se muestran las distribuciones de frecuencia de los jockeys utilizados en estos análisis.

Esta figura muestra algunos puntos importantes. La optimización absoluta es aparente durante este período, donde el peso promedio no cambia (y se estrecha la variabilidad de pesos corporales). Es decir, el peso promedio de los jockeys es restringido mientras que el de la población general aumenta. Por lo tanto, las medias se distancian, reduciendo el valor OZ.. Esta variabilidad o rango en el tamaño de los jockeys está influenciada por el rango de peso que los caballos normalmente soportan en las carreras. Este peso actualmente varía entre un peso mínimo de 51 kg, incluyendo jockey, montura y equipo, hasta pesos máximos cercanos a los 70 kg. En 1964, era de 49 kg. Se desconoce la cifra para 1933. Por lo tanto, los pesos mínimos han aumentado debido tanto a las dificultades que encontraban los jockeys para mantener un peso bajo (ésta fue la razón principal por la que el peso mínimo soportado por los caballos aumentó de 49 a 51 kg), como al menor número de personas pequeñas debido a las tendencias seculares.



**FIGURA 31.** Distribuciones de frecuencia del peso de jockeys profesionales, en tres periodos durante este siglo.

Datos extraídos de los registros del JCA (1933, 1964); Jenkins (1995).

Con el tiempo, la porción inferior de la distribución ha sido erosionada. El peso más bajo en 1995 era de 48.0 kg, en comparación con los 41.3 kg en 1933. Una explicación para la disminución en los niveles superiores para el peso de los jockeys podría ser que los jockeys más pesados tienen menos oportunidad de montar, es decir, reducen su posible número de carreras. Finalmente, las carreras en las cuales a los caballos se les colocan cargas adicionales, tales como pesas y vallas, se están volviendo menos populares. Los eventos con vallas no se llevan más a cabo en las carreras en la ciudad de Sydney. Debido a que los vallistas, en general, acarreaban mayores pesos que los corredores llanos, una considerable población potencial de jockeys ha sido eliminada del deporte.

Debido a que el «pool» potencial de jockeys es cada vez menor en cada generación (OZ actualmente = 3.23 % para los varones), la oferta y la demanda hoy hace que la carrera de caballos sea un deporte profesional lucrativo. Esto indudablemente ha hecho que muchos deportistas, quienes apenas están en el rango del tamaño deseable para jockeys, encuentren difícil llegar a un peso. Esto podría, en parte, explicar también el aumento de jocketas licenciadas, quienes ahora representan cerca del 5 % de jockeys, en comparación con una «no» representación en estudios anteriores (Jenkins, 1995).

### Fútbol

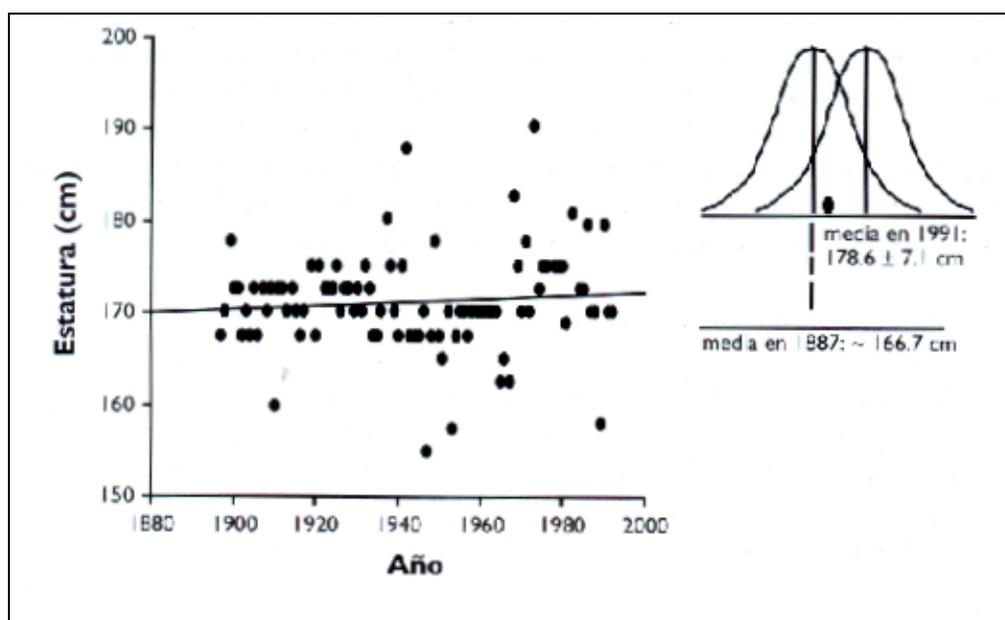
La Figura 27 muestra que el BMI promedio de los jugadores de Fútbol Australiano se ha desviado en

menos de una unidad de BMI durante los últimos 81 años (Olive y cols., 1994). Este hecho, junto con los concomitantes incrementos en el peso corporal, sugieren que los jugadores de Fútbol Australiano han mantenido similares formas corporales lineales, a lo largo de la evolución del deporte.

### Maratón

La maratón de Boston es la carrera mundial más antigua aún existente. Se re-analizaron los datos del tamaño corporal de los ganadores de la maratón de Boston, desde 1897 hasta 1992 (Falls, 1977; Fox, 1979-1993). La estatura media de los maratonistas varones es de 171.3  $\pm$  5.4 cm (rango 154.9-190.5 cm) permaneciendo constante la altura durante casi 100 años, como se muestra en la Figura 32.

La estatura media de los ganadores en Boston no ha cambiado, a pesar de la tendencia secular en la población general (cerca de 1 cm x década' en los norteamericanos; Tanner, 1978). Esta tendencia sugiere que existe un tamaño corporal óptimo para estos eventos. Esta idea está respaldada además por el peso y el índice de masa corporal (peso x altura<sup>3</sup>) de los corredores de la maratón de Boston, a lo largo del tiempo. El peso promedio de los corredores ha permanecido relativamente constante con el tiempo (61.6  $\pm$  5.1 kg). También el BMI ha permanecido sin cambios durante el mismo período, tal como se muestra en la Figura 33.



**FIGURA 32.** Relación entre la altura de los ganadores masculinos de la maratón de Boston y el año en que ganaron. Los datos son de Jenkins (1995). Datos de Falls (1977) y Fox (1979-1993).

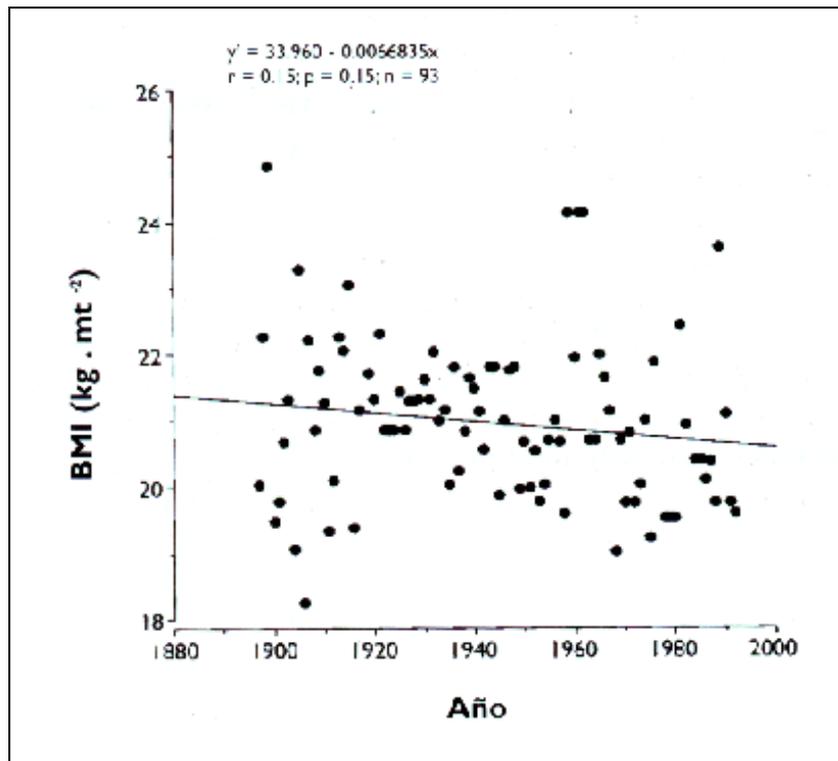


FIGURA 33. Relación entre el BMI de los ganadores masculinos de la maratón de Boston y el año en que ganaron

.Datos de Falls (1977) y Fox (1979-1993).

También se encuentran disponibles los datos de las ganadoras mujeres, desde 1979 hasta 1992 (Fox, 1979). Si bien más dispersos durante este corto período de tiempo, las ecuaciones de regresión para la altura, peso, y BMI siguen siendo no significativamente diferentes de cero (Figura 34). La altura media de las maratonistas es de 164.2 +/- 7.2 cm.

El tamaño corporal óptimo para los maratonistas dependerá de otros factores, incluyendo el tipo de terreno (los terrenos llanos en los cuales los corredores más grandes tendrán una ventaja relativa, o los terrenos ondulados donde estarán en ventaja los correctores más pequeños), y los beneficios del tamaño corporal sobre la termorregulación (cociente ASC/ peso) en el clima de Boston.

### 3.5 Optimización con límite inferior abierto

Hay muy pocos eventos que se ubican en esta categoría. Uno de los deportes en este grupo es la Gimnasia femenina. Nodeny (1994) reportó que el tamaño promedio de las representantes del equipo nacional de los E.E.U.U.L ha disminuido durante los últimos 30 años. Esto se ilustra en la Figura 35.

Durante este período, la altura y el peso han disminuido en forma constante de 1.6 mt, 47.7 kg en

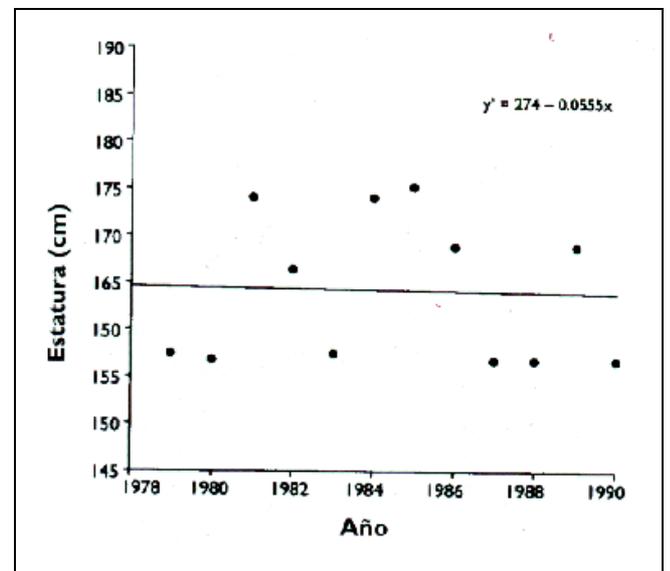


FIGURA 34. Relación entre la altura de las ganadoras femeninas de la maratón de Boston y el año en que ganaron.

Datos de Fox (1979-1993).

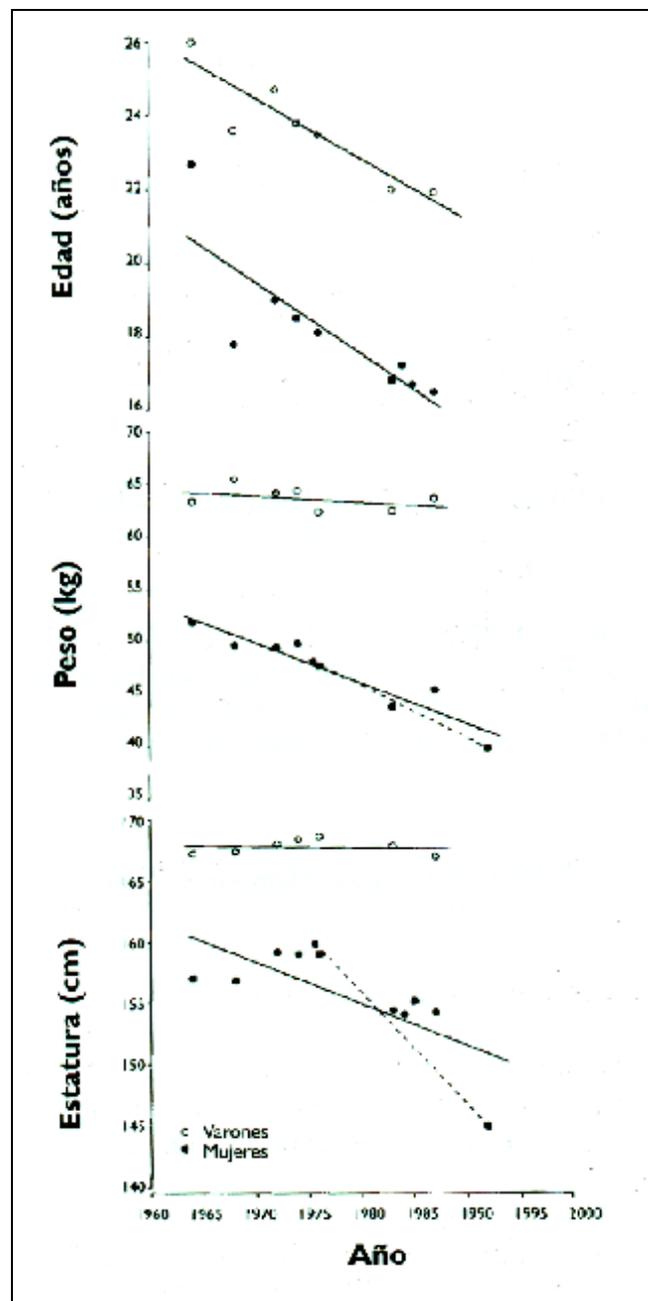
1976 a 1.45 mt, 40 kg en 1992. El BMI en las mujeres ha bajado de 21.1 en las Olimpiadas de 1964, hasta 19.2 kg x m' en el Campeonato Mundial de 1987 (Classens y cols., 1991). Concordante con estas

tendencias, la edad promedio de las gimnastas mujeres que compitieron en Campeonatos Mundiales y Olimpiadas ha disminuido de 22.7 años en 1964 a 16.5 años en 1987. En esencia, debido a las demandas del deporte (de un tamaño más pequeño), el «pool» potencial de gimnastas mujeres óptimamente proporcionadas se ha reducido entre la población adulta. En respuesta a esto, las niñas más jóvenes se han vuelto progresivamente más adecuadas para el deporte y, como fruto de esta edad y del alto volumen de entrenamiento, han desarrollado patrones característicos de menarca tardía y mantenimiento de las características de crecimiento de un niño (tales como bajos niveles de grasa corporal). Esto ha influido en el reciente cambio en el reglamento para las Gimnasia femenina internacional, en el cual existe ahora un límite inferior de edad de 15 años. Sin duda, este cambio en el reglamento producirá una alteración en la morfología de las mejores competidoras de nivel internacional, en maneras que en esta etapa, son impredecibles.

#### 4. RESUMEN

Este capítulo ha hecho una revisión del concepto de optimización morfológica. Este es el proceso por el cual las demandas físicas de un deporte llevan a la selección de los tipos corporales (estructura y composición) mejor adecuados para tal actividad. Esto es más obvio a nivel profesional. Las características anatómicas aparentes entre los deportistas de élite no son fijas dentro de la población deportiva. Por el contrario, se están sometiendo continuamente a refinamientos dentro de cada generación, como respuesta al entrenamiento y a lo largo de las generaciones, a medida que evolucionan los seres humanos, que son cambiados los reglamentos y las tecnologías, y que cambia el estado de los deportes. Todas estas características tienen un impacto sobre el deporte, modificando la población potencial a partir de la cual los deportistas son seleccionados. Nosotros presentamos un modelo para determinar estadísticamente la probabilidad de que una variable antropométrica sea encontrada dentro de la población general (o potencial). Esto permite el análisis de las presiones de selección para cualquier variable antropométrica, y la cuantificación de cómo estas

presiones podrían variar entre sexos, niveles competitivos, y con el transcurso del tiempo. Un análisis de la evolución (reciente) del tamaño y forma del ser humano ha permitido, además, estimar los requerimientos de las dimensiones corporales futuras para distintos deportes.



**FIGURA 35.** Relación entre la edad, el peso y la estatura de gimnastas varones y mujeres, que compitieron en Campeonatos Mundiales y Olimpiadas, desde 1964. Los datos son de Classens y cols., 1991 (Tabla 6); y Nodeny, 1994 (línea punteada).

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AADBase (1995).  
**Australian Anthropometric Database.**  
School of Sport and Leisure Studies,  
The University of New South Wales,  
Sydney, Australia.
- Ackland, T., Schreiner A., & Kerr, D. (1994).  
Anthropometric profiles of world  
championship female basketball players.  
International conference of science and  
medicine in sport, Brisbane,  
**Sports Medicine Australia (Abstract).**
- AFL records (1994).  
Col Hutchinson, Statistician,  
**Australian Football League,**  
Melbourne, Australia
- AJC records (1933-1964)  
**The Australian jockey Club Racing  
Calendar** (September I, 1933; September  
I, 1964).  
Australian jockey Club, Alison Road,  
Randwick, New South Wales, Australia.
- ARL records (1994).  
David Middleton, Statistician  
**League Information Services,** 31  
Morton Street, Wollstonecraft, New South  
Wales,  
Australia.
- ARU records (1994)  
Rob Bradley, Statistician,  
**Australian Rugby Union,** 353 Anzac  
Parade, Kingsford, New South  
Wales, Australia
- Astrand, P.O., & Rodahl, K. (1986).  
**Textbook of Work Physiology,** 3rd Ed.  
(p. 595).  
New York: McGraw-Hill.
- ATP Tour (1995).  
**ATP 1995 player guide.**  
Ponte Vedra Beach, Florida: ATP Tour.
- Bale, J. (1998).  
**Sport Geography.**  
New York: E & FN. Spon.
- Ballarati, G. (1994).  
**Pugilato.**  
Rome: Ballarati Publishing.
- Bartlett, R.M., & Best, R.J. (1988).  
The biomechanics of javelin throwing: a  
review.  
**Journal of Sports Science,** 6, 1-38.
- Bouchard, C., & Lortie, G. (1984).  
Heredity and endurance performance.  
**Sports Medicine,** 1, 38-64.
- Bouchard, C., & Perusse, L. (1994).  
Heredity, activity level, fitness, and  
health. In C. Bouchard, R.J. Shepherd, &  
T Stephens (Eds.),  
**Physical activity, fitness and health**  
(pp. 106-118). Champaign, Illinois:  
Human Kinetics.
- Brownell, K.D., Nelson Steen, S., & Wilmore, J.H.  
(1987).  
Weight regulation practices in athletes;  
analysis of metabolic and health effects.  
**Medicine and Science in Sports and  
Exercise,** 19, 546-556.
- Burke, E.R., Faria, I.E., & White, J.A. (1990).  
Cycling. In T Reilly, N. Secher, P. Snell,  
& C. Williams (Eds.), **Physiology of  
Sports**  
(pp. 175-213).  
London: E & FN. Spon.
- Burke, L.M., & Read, R.S.D. (1987).  
Diet patterns of elite male triathletes.  
**Physician and Sports Medicine,** 15,  
140-155.
- Burke, L.M., Read, R.S.D., & Gollan, R.A. (1985).  
Australian Rules football: an  
anthropometric study of participants.  
**British Journal of Sports Medicine,** 19,  
100-102.
- Carlson, B.R., Carter, J.E.L., Patterson, P, Petti, K.,  
Orfanos, S.M., & Noffal, G.J. (1994).  
Physique and motor performance  
characteristics of US national rugby  
players.  
**Journal of Sports Sciences,** 12, 403-  
412.

- Carter, J.E.L., Ross, W.D., Aubry, S.P, Hebbelinck, M., & Borms, J. (1982).  
Anthropometry of Montreal Olympic athletes.  
**Medicine Sport 16** (pp. 25-52).  
Karger: Basel.
- Carter, J.E.L. (Ed.). (1984).  
Physical Structure of Olympic Athletes.  
Part II:  
**Kinanthropometry of Olympic Athletes.**  
Karger: Basel.
- Chilibeck, P.D., Sale, D.G., & Webber, C.E. (1995).  
Exercise and bone mineral density.  
**Sports Medicine, 19**, 103-122.
- Claessens, A.L., Veer, F.M., Stijnen, V., Lefeure, J., Maes, H., Steens, G., & Beunen, G. (1991).  
Anthropometric characteristics of outstanding male and female gymnasts.  
**Journal of Sports Sciences, 9**, 53-74.
- Claessens, A.L., Hlatky, S., Lefevre, J., & Holdhaus, H. (1994).  
The role of anthropometric characteristics in modern pentathlon performance in female athletes.  
**Journal of Sports Science, 12**, 391-401.
- Claremont, A.D., Costill, D.L., Fink, W., & Van Handel, P. (1976).  
Heat tolerance following diuretic induced dehydration.  
**Medicine and Science in Sports, 8**, 239-243.
- Clark, P.J. (1956).  
The heritability of certain anthropometric characters as ascertained from measurements of twins.  
**American Journal of Human Genetics, 8**, 49-54.
- Clarys, J.P., Martin, A.D., & Drinkwater, D.T. (1984).  
Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. 459-473.  
**Human Biology, 56**,
- Conners, M., Dupuis, D.L., & Morgan, B. (1992).  
**The Olympic Factbook.**  
London: Visible Ink Press.
- Cox, M.H., Miles, D.S., Verde, T.J., & Rhodes, E.C. (1995).  
Applied physiology of ice hockey.  
**Sports Medicine, 19**, 184-201.
- Craig, N.P. (1984).  
**South Australian state representative sportsmen: relative body fat, somatotype and anthropometric prediction of body density.** Unpublished master's thesis. The Flinders University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia.
- Cureton, K.J., & Sparling, P.B. (1980).  
Distance running performance and metabolic responses to running in men and women with excess weight experimentally equated.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise, 12**, 288-294.
- Cureton, K.J., Sparling, P.B., Evans, B.W, Johnson, S.M., Kong, U.D., & Purvis, J.W. (1978).  
Effect of experimental alterations in excess weight on aerobic capacity and distance running performance.  
**Medicine and Science in Sports, 10**, 194-199.
- DASET (1992).  
Department of the Arts, Sport, the Environment and Territories.  
**Pilot survey of the fitness of Australians.**  
Canberra: Australian Government Printing Service.
- Dupree, D. (1994).  
Shaq, 'Zo and beyond: A peek into the future. In A. Sachare (Ed.), **The official NBA basketball encyclopedia** pp. 164-173).  
New York: Villard Books.

- Dyson, G.H.G. (1975).  
**The mechanics of athletics** (pp. 146-163).  
London: Hodder and Stoughton.
- Eveleth, P.B., & Tanner, J.M. (1976).  
**Worldwide variation in human growth** (pp. 276-433).  
Cambridge: Cambridge University Press.
- Falls, J. (1977).  
**The Boston Marathon** (pp. 163-165).  
New York: Macmillan.
- Faulkner, R.A. (1976).  
**Physique characteristics of Canadian figure skaters.**  
Unpublished Master's thesis, Simon Fraser University Vancouver.
- Fleck, S.J., Case, S., Puhl, J., & Van Handle, P (1985).  
Physical and physiological characteristics of elite women volleyball players.  
**Canadian Journal of Applied Sport Sciences, 10**, 122-126.
- Fogelholm, M. (1994).  
Effects of bodyweight reduction on sports performance.  
**Sports Medicine, 18**, 249-267.
- Foley, J.P, Bird, S.R., & White, J.A. (1989).  
Anthropometric comparison of cyclists from different events  
**British Journal of Sports Medicine, 23**, 30-33.
- Ford, L.E. (1984).  
Some consequences of body size.  
**American Journal of Physiology, 247**, H495-H507.
- Fox, E. (Ed.) (1979 - 1993).  
**Track and Field News**, (Vols. 32, #1 - 46#1).  
Mt View, California: Track and Field Publications
- Floud, R., Wachter, K.W, & Gregory, A. (1990).  
**Height, health and history: Nutritional status in the United Kingdom, 1750-1980.**  
Cambridge: Cambridge University Press.
- Fry, A.C., Ryan, A.J., Schwab, R.J., Powell, D.R., & Kraemer, W.J. (1991).  
Anthropometric characteristics as discriminators of body-building success.  
**Journal of Sports Sciences, 9**, 23-32.
- Gard, M. (1995).  
**Anthropometric survey of Sydney school children.** Unpublished Master's thesis, The University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Goldberg, K.E. (1984).  
**The skeleton: Fantastic framework** (p. 57).  
Washington: U.S. News Books.
- Goldman, H. G. (Ed.). (1986).  
**Ring Record Book.**  
New York: Ring Publishing Corporation.
- Goldman, A., & Dill, D. B. (1977).  
A physiological profile of a jogging class young and old, male and female. In P. Milvy (Ed.),  
The marathon, physiological, medical, epidemiological and psychological studies.  
**Annals of the New York Academy of Sciences, 301**, 550-560.
- Hagerman, F, Hagerman, G., & Meckelson, T (1979).  
Physiological profiles of elite rowers.  
**The Physician and Sports Medicine, 7**, 74-83.
- Hahn, A. (1990).  
Identification and selection of talent in Australian rowing.  
**Excel, 6**, 5-11.
- Hahn, A., & Bourdon, P (1995).  
Protocols for the physiological assessment of rowers.  
In J. Draper, B. Minikin, & R. Telford (Eds.). **Test methods manual, section III.**  
Canberra: Australian Sports Commission.
- Hanson, J.S. (1973).  
Exercise responses following production of experimental obesity.  
**Journal of Applied Physiology, 35**, 587-591.

- Hartland, M. (1981).  
**The anthropometric prediction of body density and relative body fat in South Australian males.**  
Unpublished Honours thesis, The Flinders University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia.
- Holly, R.G., Barnard, R.J., Rosenthal, M., Applegate, E., & Pritikin, N. (1986).  
Triathlete characterisation and response to prolonged strenuous competition.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise, 18**, 123-127.
- Holmer, I., & Bergh, U. (1974).  
Metabolic and thermal responses to swimming in water at varying temperature.  
**Journal of Applied Physiology, 37**, 702-705.
- Horstman, D.H., & Horvath, S.M. (1973).  
Cardiovascular adjustments to progressive dehydration.  
**Journal of Applied Physiology, 35**, 501-504.
- Horswill, C.A., Hickner, R.C., Scott, J.R., Costill, D.L., & Gould, D. (1990).  
Weight loss, dietary carbohydrate modifications and high intensity physical performance.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise, 22**, 470-477.
- Ireland, M.L., & Micheli, L.J. (1987).  
Triathletes: biographic data, training, and injury patterns.  
**Annals of Sports Medicine, 3**, 117-120.
- Ingen Shenau, G.J., & de Groot, G. (1983).  
On the origin of differences in performance level between elite male and female speed skaters.  
**Human Movement Science, 2**, 151-159.
- Jacobs, I. (1980).  
The effects of thermal dehydration on performance of the Wingate anaerobic test.  
**International Journal of Sports Medicine, 1**, 21-24.
- Jenkins, PH. (Ed.). (1995).  
**Australian Jockey Club Racing Calender** (Vols. 72 #9; April, 1995)  
Sydney: Australian Jockey Club, Alison Road, Randwick, New South Wales, Australia.
- Johnson, W O. (1974).  
From here to 2000.  
**Sports Illustrated, 41**, 80.
- Jokl, E. (1976).  
Record physiology.  
In E. Jokl (Ed.), **Advances in exercise physiology** (pp. 3-22).  
Basel: Karger.
- Katch, Fl., & Katch, V.L. (1984).  
The body composition profile.  
In J.A. Nicholas, & E.B. Hershman (Eds.), **Clinics in Sports Medicine 3** (pp. 31-42).  
London: W B. Saunders.
- Klinzing, J.E., & Karpowicz, VV. (1986).  
The effects of rapid weight loss and rehydration on a wrestling performance test.  
**Journal of Sports Medicine, 26**, 149-156.
- Khosla, T (1968).  
Unfairness of certain events in the Olympic games.  
**British Medical journal, 4**, 111-113.
- Khosla, T (1983).  
Sport for tall.  
**British Medical journal, 287**, 736-738.
- Khosla, T, & McBroom, V.C. (1988).  
Age, height and weight of female Olympic finalists.  
**British Journal of Sports Medicine, 19**, 96-99.
- Kunitz, S.J. (1987).  
Making a long story short: a note on men's height and mortality in England from the first through the nineteenth centuries.  
**Medical History, 31**, 269-280.

- Leake, C.N., & Carter, J.E.L. (1991).  
Comparison of body composition and somatotype of trained female triathletes.  
**Journal of Sports Sciences, 9**, 125-138.
- LeVeau, B., Ward, T., & Nelson, R.C. (1974).  
Body dimensions of Japanese and American gymnasts.  
**Medicine and Science in Sports, 6**, 146-150.
- MacLaren, D. (1990).  
Court games: volleyball and basketball.  
In T Reilly, N. Secher, P. Snell, & C. Williams, (Eds.), **Physiology of Sports** (pp. 427-464).  
London: E & F N. Spon.
- Maffulli, N. (1992).  
Making weight: a case study of two elite wrestlers.  
**British Journal of Sports Medicine, 26**, 107-110.
- Malina, R.M. (1982).  
Menarche in athletes: A synthesis and hypothesis.  
**Annals of Human Biology, 10**, 1-24.
- Malina, R.M. (1994).  
Physical activity: relationship to growth, maturation, and physical fitness. In C. Bouchard, R.J. Shepherd, & T Stephens (Eds.), **Physical activity, fitness and health** (pp. 918-930).  
Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Mathews, R., & Morrison, I. (1990).  
**The Guinness encyclopedia of international sports records and results.**  
Middlesex: Guinness Publishing.
- Mazza, J.C., Ackland, TR., Bach, TM., & Cosolito, P. (1994).  
Absolute body size. In J.E.L. Carter, & TR. Ackland (Eds.),  
**Kinanthropometry in Aquatic Sports** (pp. 15-54).  
Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- McCallum, J.D. (1974).  
**The world heavyweight boxing championship, a history.**  
Radnor, PA: Chilton.
- McLean B.D. & Parker A.W (1989).  
An anthropometric analysis of the elite Australian track cyclist.  
**Journal of Sports Science, 7**, 247-255.
- Meredith, H.V (1976).  
Findings from Asia, Australia, Europe and North America on secular change in mean height of children, youths and young adults.  
**American Journal of Physical Anthropology, 44**, 315 - 326.
- Micheli, L.J., Gillespie, WJ., & Walaszek, R.P.T (1984).  
Physiologic profiles of female professional ballerinas. In J.A. Nicholas & E.B. Hershman (Eds.).  
**Clinics in Sports Medicine 3** (pp. 199-213).  
London: W.B. Saunders.
- Mikkelsen, F (1979).  
Physical demands and muscle adaptation in elite badminton players. In J.Terauds (Ed.),  
**Science in Racquet Sports** (pp. 55-67).  
Del Mar, California: Academic.
- Miller, FR., & Manfredi, TG. (1987).  
Physiological and anthropometrical predictors of 15-kilometre time trial cycling performance.  
**Research Quarterly for Exercise and Sport, 25**, 250-254.
- Minard, D. (1970).  
Body heat content. In: J.D. Hardy, A.P Gage, & J.A.L. Stolwijk (Eds.).  
Physiological and Behavioural **Temperature Regulation** (pp. 345-357).  
Illinois: Charles C. Thomas Publishers.
- Montgomery, D.L. (1982).  
The effect of added weight on ice hockey performance.  
**Physician and Sports Medicine, 10** (11), 91-99.

- Mullan, H. (1995).  
**Boxing News.**  
London: Boxing News Ltd.
- Nadel, E.R., Holmer, I., Bergh, U., Astrand, P-O., & Stolwijk, J.A.J. (1974).  
Energy exchanges of swimming man.  
**Journal of Applied Physiology, 36,**  
465-471.
- Nicholas, C.W., & Baker, J.S. (1995).  
Anthropometric and physiological characteristics of first- and second-class rugby players.  
**Journal of Sports Sciences, 13,** 15.
- Niinimaa, V., Wright, G., Shepherd, R.J., & Clarke, J. (1977).  
Characteristics of the successful dingy sailor.  
**Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 17,** 83-96.
- Nodeny, M. (Aug. 8, 1994).  
Dying to win.  
**Who Weekly, 130,** 50-57.
- Norton, K.I. (1984).  
**South Australian females: Body fat, somatotype, body density and anthropometric fractionation of body mass.**  
Unpublished Master's thesis, The Flinders University of South Australia, Adelaide, South Australia, Australia.
- NSW Department of Public Health, School Medical Service. (1955).  
**Height and weight tables.**  
Sydney: New South Wales Government Printer (Australia).
- Olds, T.S., Norton, K.I., & Craig, N.P. (1993).  
Mathematical model of cycling performance.  
**Journal of Applied Physiology, 75,**  
730-737.
- Olds, T.S., Norton, K.I., Lowe, E.L.A., Olive, S., Reay, F., & Ly, S. (1995).  
Modeling road cycling performance.  
**Journal of Applied Physiology, 78,**  
1596-1611.
- Olive, S.C., Norton, K.I., & Olds, T.S. (1994).  
The evolution of body size in Australian male athletes. **Proceedings of the Australian Sports Medicine National Scientific Conference,** Brisbane.
- O'Toole, M.L., & Douglas, P.S. (1995).  
Applied physiology of triathlon.  
**Sports Medicine, 19,** 251-267.
- O'Toole, M.L., Douglas, P.S., & Hiller, W.D. (1989).  
Applied physiology of a triathlon.  
**Sports Medicine 8,** 201-225.
- Parnell, R.W. (1958).  
**Behaviour and physique.**  
London: Arnold.
- Parr, R.B., Wimore, J.H., Hoover, R., Bachman, D., & Kerlan, R. (1978).  
Professional basketball players: athletic profiles.  
**Physician and Sportsmedicine, 6,** 77-84.
- Pavicic, L. (1986).  
Anthropometrical characteristics in relation to activity in sports. In T Reilly, J., Watkins, J., & Borms, J. (Eds.), **Kinanthropometry III** (pp. 221-226).  
London: E & F N. Spon.
- Pendergast, D.R., Di Prampero, R.E., Craig, A.B. Jr, Wilson, D.R., & Rennie, D.W. (1977).  
Quantitative analysis of the front crawl in men and women.  
**Journal of Applied Physiology, 43,**  
475-479.
- Pheasant, S. (1988).  
**Bodyspace. Anthropometry, ergonomics and design.**  
London: Taylor and Francis.
- Pollard, J. (1984).  
**Australian rugby union: The game and the players.**  
Sydney: Angus and Robertson.

- Pugh, L.G.C.E., Edholm, O.G., Fox, R.H., Wolff, H.S., Hervey, G.R., Hammond, W.H., Tanner, J.M., & Whitehouse, R.H. (1960). Physiological study of channel swimming. **Clinical Science**, **19**, 257-273.
- Pyke, FS. (1981). Physiological considerations during exercise in hot climate. **Transactions of the Menzies Foundation**, **2**, 213-220.
- Quinney, H.A. (1990). Sport on ice. In T Reilly, N. Secher, P Snell, & C.Williams (Eds.), **Physiology of Sports** (pp. 311-334). London: E & F N. Spon.
- Radford, FF (1990). Sprinting. In T Reilly, N. Secher, P Snell, & C.Williams (Eds.), **Physiology of Sports** (pp. 71-99). London: E & F N. Spon.
- Reilly, T. (1990a). Football. In T Reilly, N. Secher, P Snell, & C.Williams (Eds.), **Physiology of Sports** (pp. 371-425). London: E & F. N. Spon.
- Reilly, T (1990b). Swimming. In T. Reilly, N. Secher, P Snell, & C. Williams (Eds.), **Physiology of Sports** (pp. 217-257). London: E & F N. Spon.
- Reilly, T (1990c). The racquet sport.. In T Reilly, N. Secher, P Snell, & C. Williams (Eds.), **Physiology of Sports** (pp. 337-369). London: E & FN. Spon.
- Rodriguez, FA. (1986). Physical structure of international lightweight rower.. In T Reilly, J. Watkins, & J. Borms (Eds.), **Kinanthropometry III** (pp. 255-261). London: E & F N. Spon.
- Ross, W D., Brown, S.R., Faulkner, R.A., & Savage, MY (1976). Age of menarche of elite Canadian skaters and skiers. **Canadian Journal of Applied Sports Sciences**, **1**, 288.
- Ross, W.D., Leahy, R.M., Mazza, J.C., & Drinkwater, D.T (1994). Relative body size. In J.E.L. Carter, & T.R. Ackland (Eds.), **Kinanthropometry in Aquatic Sports** (pp.83-101). Champaign, Illinois: Human Kinetic..
- Ross, W D., Ward, R., Leah, R., & Day, J. (1982). Proportionality of Montreal athlete.. In J. Carter (Ed.). **Physical structure of Olympic Athletes. Part I: The Montreal Olympic Games Anthropological Project** (pp. 81-106). Basel: Karger.
- Ross, W D., & Marfell-Jone., M.T (1991). Kinanthropometry. In J.D. MacDougall, H.A.Wenger, & H.J. Green (Eds.), **Physiological Testing of the High-Performance Athlete**, 2nd Ed. (pp. 223-308). Champaign, Illinois: Human Kinetic..
- Roth, R.E., & Harris, M. (1908). **The physical condition of children attending public schools in New South Wales**. Sydney: Department of Public Instruction.
- Sachare, A. (Ed.). (1994). **The official NBA basketball encyclopedia**. New York: Villard Books.
- Sawka, M.N., Toner, M.M., Francesconi, R.P, & Pandolf, K.B. (1983). Hypohydration and exercise: effects of heat acclimation, gender and environment. **Journal of Applied Physiology**, **55**, 1147-1153.

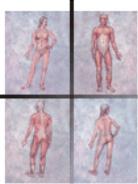
- Secher, N. (1983).  
The physiology of rowing.  
**Journal of Sports Sciences I**, 23-53.
- Secher, N. (1990).  
Rowing. In T Reilly, N. Secher, P. Snell,  
& C. Williams (Eds.), **Physiology of  
Sports** (pp. 259-285).  
London: E & F N. Spon.
- Shephard, R.J. (1990).  
Sailing. In T Reilly, N. Secher, P Snell,  
& C. Williams (Eds.),  
**Physiology of Sports** (pp. 287-309).  
London: E & F N. Spon.
- Sinning, W E. (1985).  
**Body Composition and Athletic  
Performance**. Proceedings of the 56th  
Annual Meeting of  
the American Academy of Physical  
Education, 18:45-56.  
Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Smith, D.M., Nance, W E., Kang, K.W, Christian,  
J.C., & Johnston, C.C. (1973).  
Genetic factors in determining bone  
mass.  
**Journal of Clinical Investigations**, **52**,  
2800-2808.
- Smith, J.R. (1982).  
**The relationship of selected  
biomechanical and anthropometric  
measures to  
accuracy in netball shooting**.  
Unpublished Honours thesis, University  
of Western Australia,  
Perth, Australia.
- Sobral, F, Paula Brito, A., Alves, J., Fragoso, M.I., &  
Rodriguez, M.A. (1986).  
Physique, personality and strength as  
related with menarcheal age in college  
women. In T Reilly,  
J. Watkins, & J. Borms (Eds.),  
**Kinanthropometry III** (pp. 181-184).  
London: E & F N. Spon.
- Soares, J., De Castro Mendes, O., Neto, C.B., &  
Matsudo, V K.R. (1986).  
Player fitness characteristics of Brazilian  
national basketball team as related to  
game function.
- In J.A.P. Day (Ed.), **Perspectives in  
Kinanthropometry** (pp. 127-133).  
Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Sovac, D., & M.R. Hawes. (1987).  
Anthropological states of international  
calibre speed skaters.  
**Journal of Sports Sciences**, **5**, 287-304.
- Spence, D.W, Disch, J.G., Fred, H.L., & Coleman,  
A.E. (1980).  
Descriptive profiles of highly skilled  
women volleyball players.  
**Medicine and Science in Sport and  
Exercise**, **12**, 299-302.
- Steele, J.R. (1987).  
**The relationship of selected  
anthropometric and lower extremity  
characteristics  
to the mechanics of landing in netball**.  
Technical Report 1, Part B.  
Canberra: Australian Sports Commission.
- Stepnicka, J. (1986).  
Somatotype in relation to physical  
performance, sports and body posture. In  
T Reilly, J. Watkins,  
& J. Borms (Eds.), **Kinanthropometry  
III** (pp. 39-52).  
London: E & F. N. Spon.
- Swain, D.P. (1994).  
The influence of body mass in endurance  
bicycling.  
**Medicine and Science in Sports and  
Exercise**, **26**, 58-63.
- Tanner, J.M. (1978).  
**Foetus into man** (p. 143).  
London: Open Books.
- Telford, R. Egerton, W. Hahn, A., & Pang,  
P. (1988).  
Skinfold measures and weight controls in  
elite athletes.  
**Excel** **5**, 21 - 26.
- Telford, R., Tumilty, D., & Damm, G. (1984).  
Skinfold measurements in well-  
performed Australian Athletes.  
**Sports Science and Medicine  
Quarterly**, **I** (2), 13-16.

- Tittel, K., & Wutscherk, H. (1992). Anatomical and anthropometric fundamentals of endurance. In R.J. Shepherd, & P-O.Astrand (Eds.), **Endurance in Sports** (pp. 35-45). London: Blackwell Scientific.
- Vujovic, D., Lozovina, V., & Pavicic, L. (1986). Some differences in anthropometric measurements between elite athlete in waterpolo and rowing. In T Reilly, J. Watkins, & J. Borms, (Eds.), **Kinanthropometry III** (pp. 27-32). London: E & F N. Spon.
- Wang, M.Q., Downey, G.S., Perko, M.A., & Yesalis, C.E. (1993). Changes in body size of elite high school football players: 1963-1989. **Perceptual and Motor Skills**, **76**, 379-383.
- Watman, M. (1986). World records in Europe. **Athletics weekly**, **September 27**, 5-10.
- Webster, S., Rutt, R., & Weltman, A. (1990). Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, **22**, 229-234.
- Wilmore, J.H. (1983). Appetite and body composition consequent to physical activity. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, **54**, 415-425.
- Wilmore, J.H., & Costill, D.L. (1987). **Training for Sport and Activity: The Physiological Basis of the Conditioning Process**, 3rd Ed. Boston: Allyn and Baun.
- Wilmore, J.H., & Haskell, W L. (1972). Body composition and endurance capacity of professional football players. **Journal of Applied Physiology**, **33**, 564-567.
- Withers, R.T, Craig, N.P., Bourdon, P.C., & Norton, K.I. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. **European Journal of Applied Physiology**, **56**, 191-200.
- Withers, R.T, Norton, K.I., Craig, N.P, Hartland, M.C., & Venables, W (1987). The relative body fat and anthropometric prediction of body density of South Australian females aged 17-35 years. **European Journal of Applied Physiology**, **56**, 181-190.
- Withers, R.T, Whittingham, N.O., Norton, K.I., La Forgia, J., Ellis, M.W, & Crockett, A. (1987). Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. **European Journal of Applied Physiology**, **56**, 169-180.
- Zupp, A. (1994). A gutful of Sumo. **Inside Sport**, **34**, October, 108-116.

### Acknowledgments

The authors wish to thank the following people who have helped with data presented in this chapter:

Dr Tim Ackland, The University of Western Australia, Perth  
 Rob Bradley, Australian Rugby Union, Sydney  
 Pitre Bourdon, The South Australian Sports Institute, Adelaide  
 Dr Enid Ginn, Performance Edge Health & Fitness Services, Queensland  
 Dr Alan Hahn, The Australian Institute of Sports, Canberra  
 John Hogg, Boxing Historian, Brisbane, Queensland  
 Col Hutchinson, Australian Football League, Melbourne, Victoria  
 David Middleton, Rugby League Information Services, Sydney  
 Mauri Aho, Chief Handicapper, Australian Jockey Club, Sydney  
 Julie Steele, Wollongong University, Wollongong, NSW



## ANTROPOMETRIA, SALUD Y COMPOSICION CORPORAL

*Peter Abernethy, Tim Olds, Barbara Eden, Michelle Neill, y Linda Baines*

### 1. LA RELACION ENTRE SALUD, COMPOSICION CORPORAL Y ANTROPOMETRIA

En este capítulo discutiremos cómo el peso, la adiposidad, y la distribución del tejido adiposo, determinados por antropometría de superficie, pueden estar involucrados en distintas patologías y síndromes, y si el perfil antropométrico puede ser utilizado en el manejo del riesgo de estas patologías y síndromes.

- Las técnicas antropométricas pueden ser utilizadas potencialmente en distintas formas particulares en relación al manejo del riesgo. El perfil antropométrico podría ser utilizado para
- identificar aquellas personas **en riesgo** de desarrollar una patología;
- identificar aquellas personas que están **padeciendo** alguna patología;
- profundizar en los **mecanismos** que sustentan una patología en particular;
- **dirigir** intervenciones de salud; y
- **controlar** los efectos de las intervenciones.

En la mayor parte, este capítulo se centrará en el «síndrome metabólico», una constelación de síntomas que frecuentemente ocurren en forma conjunta: obesidad, tensión arterial elevada, altos niveles sanguíneos de triglicéridos, intolerancia a la glucosa, altos niveles de colesterol, y diabetes mellitus de tipo II (no insulino-dependiente). Un estudio mostró que solamente el 36 % de las personas en una población se encontraba libre de los seis síntomas (reportado en Barnard & Wen, 1994). Sin embargo, también mencionaremos la relación entre las distintas formas de cáncer, la tasa de mortalidad por todas las causas, y los indicadores antropométricos.

### 2. INDICES ANTROPOMETRICOS SUPERFICIALES DEL ESTADO DE SALUD

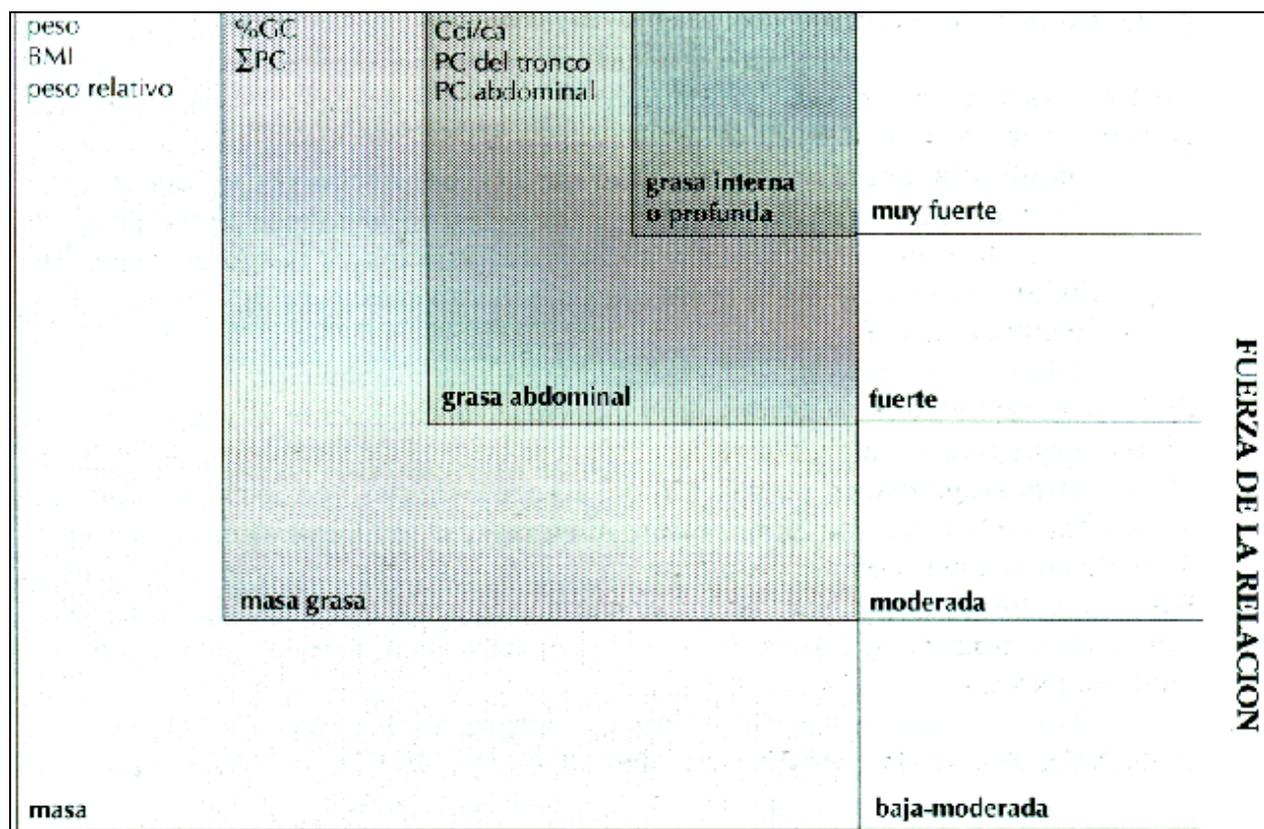
Para el entendimiento de la relación entre la antropometría y la salud son fundamentales los temas superpuestos de los niveles de peso, la variabilidad de peso, los niveles de adiposidad, y la ubicación de la grasa (ver Figura 1). Es probable que los principales riesgos cardiovasculares y metabólicos asociados con la composición corporal están más estrechamente relacionados con la distribución de la grasa corporal (particularmente el tamaño de los depósitos de grasa abdominal), que con los elevados niveles de grasa en sí, o con el exceso de grasas. El peso, el peso relativo, y el índice de masa corporal (BMI,  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) son todos indicadores de peso, y son valiosos ya que reflejan la adiposidad general.

La adiposidad corporal ha sido cuantificada utilizando mediciones de pliegues cutáneos y/o perímetros, si bien estos procedimientos han sido considerados normalmente menos favorables que el peso hidrostático, el conteo de "K", o la medición del agua corporal total (Martin & Drinkwater, 1991). Las mediciones de la grasa corporal son valiosas, no sólo como medición de la adiposidad total, sino también para reflejar el grado de incremento en depósitos específicos de grasas (particularmente, niveles de grasa abdominal).

Las mediciones antropométricas, tales como los cocientes entre pliegues cutáneos y el cociente cintura/cadera (Cci/ca) han sido ampliamente utilizados para perfilar la distribución de la grasa. La antropometría de superficie por sí sola no puede cuantificar los depósitos de grasa. La tomografía computada (TC) y la resonancia magnética por imágenes (RMI) tienen mayor validez (Bouchard, 1994; Després y cols., 1991; Ferland y cols., 1989). Sin embargo, el costo de la RMI y de la TC, y en el caso de la TC su irradiación asociada, impide su uso en la mayoría de los contextos clínicos. Las técnicas antropométricas de superficie, a menudo, representan

las únicas herramientas disponibles para la mayoría de los clínicos. En consecuencia, es fundamental

optimizar su uso para un buen manejo de salud.



**FIGURA 1.** Relación entre las mediciones antropométricas y los factores de riesgo de las principales patologías. GC = grasa corporal; PC = pliegues cutáneos; Cci/ca = cociente cintura/cadera.

## 2.1 Mediciones de peso

### 2.1.1 Peso corporal y variabilidad en el peso

El peso corporal total y los cambios en el peso son instrumentos antropométricos relativamente generales en cuanto a lo que a estado de salud se refiere. No pueden distinguir entre masa grasa y no grasa, y existe una amplia evidencia que indica que la primera está más estrechamente implicada en los procesos de enfermedades (Sjöstrom, 1992a). La proporción de aumento de peso en forma de grasa, y la proporción que es masa magra («fraccionamiento de nutrientes») muestra una gran variabilidad inter-individual. Los estudios de sobrealimentación, utilizando gemelos, (Bouchard, 1991) han mostrado que la constitución genética influye en el fraccionamiento de nutrientes. La proporción entre masa grasa y masa magra podría variar entre 1:2 y 4:1. Los sujetos que aumentaron más el peso total, normalmente también aumentaron una mayor proporción de masa grasa. Esto podría deberse al hecho de que los sujetos con sobrepeso pueden tener menores tasas de oxidación de grasas, las cuales disminuyen aún más a través de la sobrealimentación (Díaz, Prentice, Goldberg,

Murgatroyd, & Coward, 1992). De modo similar, una reducción significativa en el peso normalmente conlleva a la disminución tanto de masa grasa como magra (Young, Garza, & Steinke, 1984). Debido a que el valor calórico de las grasas es de 37 kJ.gr', y que el del tejido magro (- 20 % proteínas) es de 5 kJ.gr', una persona obesa (que disminuye proporcionalmente más grasas) mostrará una menor reducción en el peso corporal, para un determinado déficit calórico, que una persona magra. Por estas razones, los cambios en el peso corporal no son índices confiables de cambios en la masa grasa.

De cualquier modo, el peso corporal debería ser una medición de rutina en cualquier perfil antropométrico relacionado con la salud, ya que un peso excesivo y una variabilidad excesiva en el peso corporal están asociados con distintas patologías (Sjöstrom, 1992a,b), entre las cuales se encuentran

- **Angina de pecho y enfermedad cardiovascular (ECC).** En un estudio, se observó que un grupo de mujeres entre 35 y 55 años, que había aumentado su peso más de 10 kg después de los 18 años, tuvo un mayor riesgo de desarrollar angina de pecho y ECC que las

mujeres que habían aumentado su peso menos de 3 kg (Goldstein, 1992).

- **Diabetes de tipo II.** Se ha estimado que una disminución de 10 kg de peso anularía cerca de 1/3 de la pérdida en longevidad, normalmente asociada con la diabetes de tipo II (Goldstein, 1992).
- **Hipertensión.** La prevención del aumento de peso en individuos normotensos reduce la probabilidad de hipertensión, mientras que reducciones modestas en el peso de muchos hipertensos disminuye su tensión arterial (Goldstein, 1992). Además, la disminución de peso luego de haber culminado una exitosa terapia farmacológica antihipertensiva de 5 años, fue efectiva en muchos individuos para mantener una tensión arterial aceptable (Goldstein, 1992).
- **Perfiles anormales de lípidos en sangre.** Se ha observado que las reducciones modestas en el peso incrementan los niveles de HDL y disminuyen el nivel de LDL y las concentraciones de triglicéridos (Goldstein, 1992).

Tanto un aumento en el peso corporal, como los incrementos y disminuciones cíclicas, pueden influir en la salud. Los ciclos de disminución de peso seguidos por aumentos hasta llegar al peso original (dieta «yo-yo»), parecen aumentar la intolerancia a la glucosa, la resistencia a la insulina, y la hipertensión (Ashley & Kannel, 1974; Drenick, Brickman & Gold, 1972), y aumentan la mortalidad por toda causa y por ECC, particularmente en los hombres (Lissner y cols., 1991). Son escasos los datos sobre a qué se puede llamar fluctuaciones «normales» y «excesivas» en el peso. Lissner y cols. (1991) cuantificaron la variabilidad del peso corporal como el coeficiente de variación (CV) del peso (desvío standard/media x 100), medido durante un período de 16 años. Para los hombres, el CV promedio fue de 5.7 (rango 1 % a 18.7 %). Para las mujeres, el CV promedio fue de 6.7 % (rango 1.1 % a 21.4 %). Sin embargo, períodos más cortos de tiempo pueden estar asociados con menores CV.

### 2.1.2 Peso relativo

El peso corporal relativo (es decir, el cociente entre el peso corporal actual y el peso normal, estimado para una determinada estatura) ha sido utilizado extensamente para propósitos de seguros, y en investigaciones epidemiológicas [por ej., la investigación de Garfinkel (1985) comprendió 750.000 sujetos]. El peso «normal» para una

determinada altura usualmente es definido estadísticamente a partir de estudios con grandes poblaciones. Los datos de la Metropolitan Life Insurance Company (Compañía Metropolitana de Seguros de Vida) han sido utilizados con frecuencia en los Estados Unidos. Estos datos están disponibles desde la década de 1940, y desde entonces se han ido actualizando (Sociedad de Agentes y Asociación de Directores Médicos de Seguros de Vida de Norteamérica, 1979). En Australia, se disponen de datos del peso para la altura desde 1957, en el Departamento de Salud de la Commonwealth (reimpreso en Schell & Leelarthae-pin, 1994, p. 48).

El peso relativo óptimo parece ser entre 90 y 109 % en los varones, y entre 80 y 109 % en las mujeres (Garfinkel, 1985). Los individuos con pesos relativos > 110 % o < 90 % son considerados con sobrepeso o bajo peso, respectivamente. Los pesos relativos que caen fuera de este rango han sido asociados con un aumento en la mortalidad específica y por todas las causas. Los cocientes de mortalidad por todas las causas en hombres y mujeres con pesos relativos > 140 % son 1.87 y 1.89, respectivamente (Garfinkel, 1985).

Aproximadamente el 50 % de los hombres y mujeres diabéticos (en su mayoría diabéticos de tipo II) tienen un peso mayor al 110 % del peso normal (Bray, 1992a). Garfinkel (1985) observó que la morbilidad por carcinoma en el endometrio, útero, cervix, y vesícula biliar era significativamente mayor en mujeres cuyo peso era 120 % mayor que su peso ideal nominal. Además, el riesgo de estos cánceres aumentaba con incrementos en el peso relativo hasta, al menos, 140 % de su peso ideal. A este nivel de sobrepeso también se observó un incremento significativo en el riesgo de cáncer de ovario y de mama. En los hombres, el riesgo de cáncer de próstata comenzaba a ser significativo con 120 % de su peso ideal nominal, pero no aumentó con mayores incrementos en el peso, mientras que el riesgo de carcinoma en colon y en recto se volvía significativo y aumentaba, con incrementos en el peso relativo superiores al 130 %. En síntesis, los hombres y las mujeres tienen un mayor riesgo de desarrollar algunas formas de cáncer cuando su peso relativo es superior al 120 % del normal.

El peso relativo probablemente representa una variable satisfactoria de los riesgos para las poblaciones generales, pero se duda que sea una medición satisfactoria del riesgo individual. Esto se debe a que el peso relativo no tiene en cuenta las diferencias inter-individuales en la masa grasa y su distribución. Por lo tanto, probablemente el peso

relativo no debería utilizarse aisladamente para identificar una conformación corporal no saludable, o para controlar los efectos de las intervenciones alimentarias, deportivas, y/o farmacológicas.

### 2.1.3 Índice de Masa Corporal (BMI; IMC)

Como ocurre con el peso corporal y el peso relativo, el BMI ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) no diferencia entre las masas magra y grasa (Sjöstrom, 1992a). No es extraño que los deportistas magros y saludables presenten un elevado BMI ( $> 30$ ). Las correlaciones entre el porcentaje de los «scores» de grasa corporal (determinada hidrostática y antropométricamente) y el BMI son sólo moderadas ( $r= 0.50-0.80$ ) (Bouchard, 1991; Ducimetière, Richard, & Cambien, 1986; Sedwick Y Haby, 1991). Por consiguiente, el BMI es mejor visto como una medición de peso elevado. Además, el BMI es de cuestionable valor durante los períodos de crecimiento en los cuales la estatura está cambiando continuamente, y puede estar distorsionado por la proporcionalidad de la altura sentado y la longitud de piernas (Garn, 1986). Piernas relativamente largas disminuirán los «scores» de BMI.

De cualquier modo, el BMI ha sido relacionado con la mortalidad total y con la morbilidad específica. Por ejemplo, Bray (1992b) indicó que la mortalidad era muy baja en individuos con BMI entre 20 y 25; baja, para BMI entre 25 y 30; moderada, para BMI entre 30 y 35; alta, para BMI entre 35 y 40; y muy alta cuando el BMI era superior a 40. Se ha observado que los pacientes con ECC tienen un mayor BMI que los que no padecen de esa enfermedad (Ducimetière y cols.,

1986). Waaler (1983) reportó que el riesgo más bajo de ECC estaba con un BMI de  $23 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$  y que cada dígito de incremento en el BMI por encima de este valor aumentaba 2 % la mortalidad por ECC. El BMI tiene una correlación significativa y positiva con la resistencia a la insulina (Bray, 1992b; Donahue, Orchard, Becker, Culler, & Drash, 1987). Un elevado BMI también está asociado con patologías en la vesícula biliar y elevados niveles de triglicéridos (Bray, 1992b; Seidell y cols., 1992). BMI menores a 20 están relacionados con enfermedades digestivas y pulmonares (Bray, 1992b). El BMI ( $r= 0.26$ ) y la sumatoria de pliegues cutáneos en el tronco ( $r= 0.26$ ) tienen una correlación similar con la tensión arterial sistólica (Ducimetière y cols., 1986). Sin embargo, la relación entre el BMI y los niveles de HDL parece ser equívoca (Hodgson, Wahlqvist, Balazs, & Boxall, 1994; Seidell y cols., 1992). Además, el BMI no tuvo una correlación significativa con el grado de aterosclerosis coronaria, ni con el área del miocardio en peligro a partir de una lesión, en hombres y mujeres australianos (Hodgson y cols., 1994).

En síntesis, el BMI es una medición de peso (tanto de los componentes grasos como, magros). Mientras que los incrementos en el peso a nivel poblacional están más frecuentemente asociados con incrementos en la grasa (Garrow & Webster, 1985), esta suposición no puede ser formulada a nivel individual (los incrementos en el BMI pueden deberse a aumentos en la masa muscular). Por lo tanto, el BMI no debería usarse en forma exclusiva para cuantificar la adiposidad de un individuo.

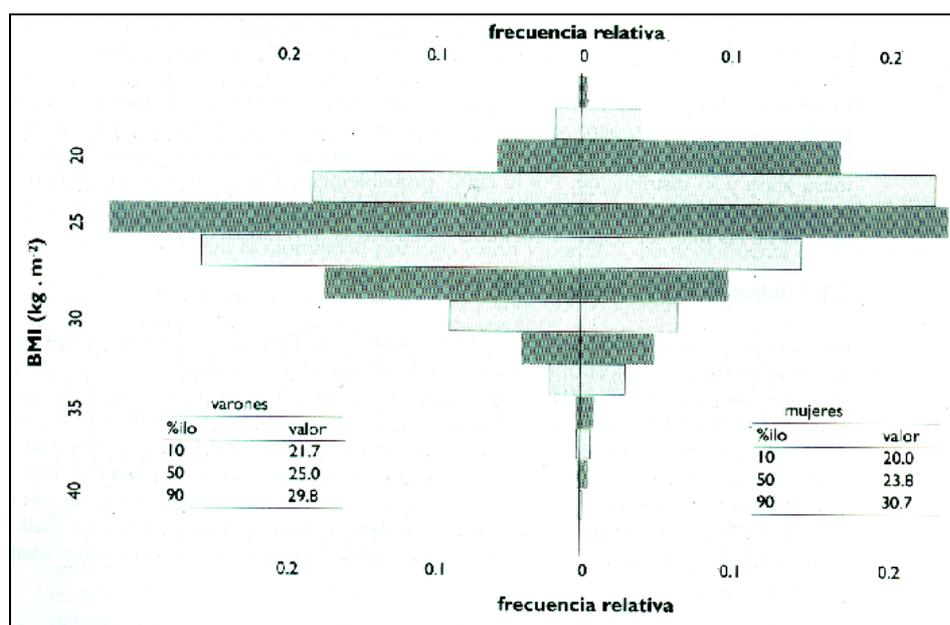


FIGURA 2. Distribución de los valores del BMI ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) en la población australiana (del estudio del Departamento de Artes, Deporte, Medio Ambiente, y Territorio, 1991). Se muestran los percentiles 10mo., 50mo., y 90mo.

## 2.2 Mediciones de la grasa corporal

El principal problema con las evaluaciones de peso (peso corporal total, peso relativo, y BMI) es que no distinguen entre masa grasa y masa magra. La masa grasa (y particularmente la distribución de la masa grasa) es, por lo general, un mejor índice de las patologías asociadas con la composición corporal que el peso corporal por sí sólo. Buskirk (1987) reportó que la hipertensión, la aterosclerosis y la ECC, la insuficiencia cardíaca congestiva, la diabetes de tipo II, la osteoartritis, algunas formas de cáncer, y las enfermedades que afectan la vesícula biliar, el hígado, y los riñones estuvieron todas asociadas con la obesidad. Se ha estimado que el 4.3 % de la mortalidad total entre los 30 y los 79 años puede atribuirse a la obesidad (es decir a los niveles excesivos de grasa corporal) (Waalder, 1983).

Las reducciones generales en la masa grasa parecen estar positivamente relacionadas con cambios en los valores del colesterol total y LDL ( $r = 0.6-0.7$ ) en mujeres obesas, luego de 12 meses de ejercicio (Després y cols., 1991). Es decir, los cambios en estos lípidos estuvieron similarmente correlacionados con reducciones en la grasa subcutánea del abdomen, tronco y muslo, y también con la grasa abdominal profunda. Además, los cambios en la masa grasa tienen una correlación significativa con cambios en la función de la glucosa ( $r = 0.64$ ), colesterol ( $r = 0.67$ ), LDL ( $r = 0.61$ ), y con el cociente HDL/LDL ( $r = -0.60$ ) (Després y cols., 1991). Otra consideración es que los cambios en la adiposidad general -pueden ser un indicador antropométrico de los cambios en las masas grasas regionales (tales como la grasa abdominal profunda), más directamente implicadas en el estado de salud (ver más adelante).

Por lo tanto, puede ser aconsejable una evaluación general de la adiposidad (tal como la sumatoria de pliegues cutáneos, porcentaje de grasa corporal, o masa grasa absoluta) ya que brinda una información que el peso corporal total, el peso relativo, o el BMI no proporcionan. Distintas intervenciones afectan en forma diferencial las masas grasa y magra, y tal información puede dar la perspectiva de si la intervención está funcionando o no. Por ejemplo, es necesario saber si los aumentos del BMI son el resultado de incrementos en la masa grasa o magra. La primera situación puede ser negativa para la salud, mientras que la última podría mejorar la misma.

A menudo, se utiliza la sumatoria de pliegues cutáneos como estimación de la adiposidad corporal total. La densidad corporal, y por lo tanto, el porcentaje de grasa corporal y la masa grasa absoluta,

pueden estimarse a partir de mediciones antropométricas de superficie (normalmente perímetros y pliegues cutáneos). Sin embargo, las ecuaciones de regresión son específicas para cada población, y por lo general, involucran considerables errores «standard» de estimación. Las diferencias en la distribución grasa entre los distintos depósitos subcutáneos, y entre los depósitos subcutáneos y viscerales, significan que las mediciones de los pliegues son un índice imperfecto de la adiposidad general. La distribución de la grasa subcutánea difiere entre hombres y mujeres (Karatsu y cols., 1987; Krotkiewski, Björntorp, Sjöström, & Smith, 1983; Leibel, Edens, & Fried, 1989), con los valores de pliegues en todos los sitios con tendencia a ser mayores en las mujeres que en los hombres. Los pliegues más gruesos tienden a estar localizados en la región lumbar-abdominal, en ambos sexos (Karatsu y cols., 1987).

### 2.2.1 Composición de nutrientes y cambios en la composición corporal

Si bien la grasa contiene 37 kJ.gr', las proteínas 17 kJ.gr, y los carbohidratos 16 kJ.gr', no todos los kilojoules son «tratados igualmente» por el organismo. La grasa alimentaria es convertida más eficientemente a grasa corporal (un costo neto de aproximadamente 3 % del valor calórico de la grasa ingerida). Los carbohidratos, por el contrario, necesitan el 23 % del valor calórico del alimento ingerido para ser almacenados como grasa corporal. Por lo tanto, existe una ventaja evolutiva (desde una perspectiva termodinámica) en almacenar la grasa alimentaria en adipocitos. Los estudios poblacionales (Miller, 1991) muestran significativas correlaciones positivas ( $r = 0.37-0.38$ ) entre la ingesta de grasa alimentaria y el porcentaje de grasa corporal. Estos datos sugieren que un cambio en la composición de la dieta, aún sin un cambio en la ingesta calórica total, pueden afectar la composición corporal.

### 2.3 Mediciones de la forma corporal y distribución de las grasas

Se está volviendo cada vez más claro que la obesidad tiene muchos fenotipos (Bouchard, 1991) caracterizados por distintas distribuciones de la masa grasa. Algunas obesidades parecen afectar adversamente a la salud más que otras (Seidell y cols., 1992). Bouchard (1991) ha identificado cuatro tipos principales de obesidad:

- Tipo 1 (grasa y/o peso excesivo que está distribuido en todas las regiones corporales);

- Tipo II (excesiva grasa subcutánea en la región abdominal, o adiposidad androide);
- Tipo III (excesiva grasa abdominal profunda); y
- Tipo IV (exceso de grasa en las regiones glútea y femoral, o adiposidad ginecoide).

Normalmente una persona obesa tendrá obesidad de Tipo I en combinación con alguna otra forma de obesidad. Por ejemplo, no es extraño que las mujeres con sobrepeso tengan obesidades (le Tipo I y Tipo IV). Las implicancias para la salud no parecen ser uniformes para cada Karma de obesidad o combinaciones de obesidad.

La obesidad androide (Tipos II y III) ha estado asociada con disfunciones metabólicas y morbilidad (hipertensión, mayores niveles de lipoproteínas de muy baja densidad [VLDL] y de baja densidad [LDL], disminuciones en las concentraciones de HDL, hiperlipidemias, diabetes de Tipo II, y ECC) (Bouchard, 1994; Goldstein, 1992; Larsson, 1991; Larsson y cols., 1984; Schmidt, Duncan, (anani, Karohl, & Chambless, 1992). De hecho, la correlación entre la Obesidad de "Tipo II y las ECC es de una magnitud similar a las correlaciones entre las ECC y el tabaquismo, la hipertensión, y la hiperlipidemia (Larsson, 1991).

La grasa abdominal subcutánea y la grasa abdominal profunda parecen ser particularmente peligrosas aumentando el riesgo de ECC, hipertensión, cálculos biliares, y diabetes de Tipo II (Bray, 1992b; Larsson y cols., 1984). Los niveles elevados de grasa abdominal profunda están correlacionados con la intolerancia a la glucosa, hiperinsulinemia, hipertensión, aumentos en los niveles plasmáticos de triglicéridos, y disminuciones en los niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL) (Després y cols., 1991; Kissebah y cols., 1982; Zamhoni y cols., 1992). Este perfil metabólico es consistente con las ECC, diabetes de Tipo II, y morbilidad por accidentes cerebrovasculares. Bergstrom y cols. (1990) reportaron que aún cuando se tienen en cuenta I(),s efectos de la tolerancia a la glucosa y el BMT, los hombres con ECC tienen más grasa abdominal profunda que sus pares subclínicos. Las reducciones en la obesidad de Tipo III (es decir, grasa abdominal profunda) también están correlacionadas con cambios positivos en los niveles de triglicéridos ( $r=0.67$ ) y con la proporción HDL/LDL ( $r=-0.66$ ) (Després y cols., 1991). Estos

datos sugieren que las personas que padecen de obesidad de Tipo II tienen un mayor riesgo de ECC. Se cree que estas relaciones son producto de eventos metabólicos a los cuales Bouchard (1990) ha denominado el «síndrome metabólico».

Existen desacuerdos con respecto de cómo las obesidades de Tipo II y III están relacionadas con el síndrome metabólico. Una línea de pensamiento argumenta que estas obesidades desencadenan el síndrome metabólico. Específicamente, los elevados niveles de cortisol promueven el depósito de grasas en las regiones subcutánea y visceral del abdomen (Bray, 1992h). Esto contrasta con los bajos niveles de cortisol que, en combinación con una elevada proporción estradiol/testosterona, promueven el depósito de grasas cerca de las regiones de glúteos y muslos (Bray, 1992b). Las células grasas localizadas en la región abdominal son más sensibles a la lipólisis (es decir, la ruptura de la grasa almacenada en AGL y glicerol plasmático) que las encontradas en la región glúteo-femoral (Gerber, Madhavan, & Alderman, 1987). Los AGL de la región abdominal son liberados directamente en la circulación portal (Larsson y cols., 1980). El aumento en los AGL plasmáticos lleva a una disminución en el consumo de insulina por el hígado (Ohlson y cols., 1985). La obesidad abdominal está asociada con una mayor lipólisis y, por lo tanto, mayores niveles de AGL plasmáticos dentro de la circulación portal, lo cual a cambio, aumenta la posibilidad que el consumo de insulina sea inhibido, llevando a elevados niveles periféricos de insulina en sangre y mayor resistencia a la insulina (Figura 3; Ohlson y cols., 1985). Alternativamente, Barnard y Wen (1994) argumentan que el síndrome metabólico es un fenómeno del estilo de vida occidental (es decir, del comportamiento sedentario y el consumo de dietas ricas en grasas y de azúcares refinados). Específicamente, este estilo de vida provoca resistencia a la insulina en individuos susceptibles. El desarrollo de las obesidades de Tipo II y III sigue al desarrollo de esta resistencia a la insulina. En síntesis, el síndrome metabólico parece tener un fuerte potencial para comprometer la salud, aumentando la probabilidad de diabetes de Tipo II, ECC, y enfermedades cerebrovasculares. Sigue siendo poco claro si las obesidades de tipo II y III son instigadoras o indicadoras de la resistencia asociada a la insulina.

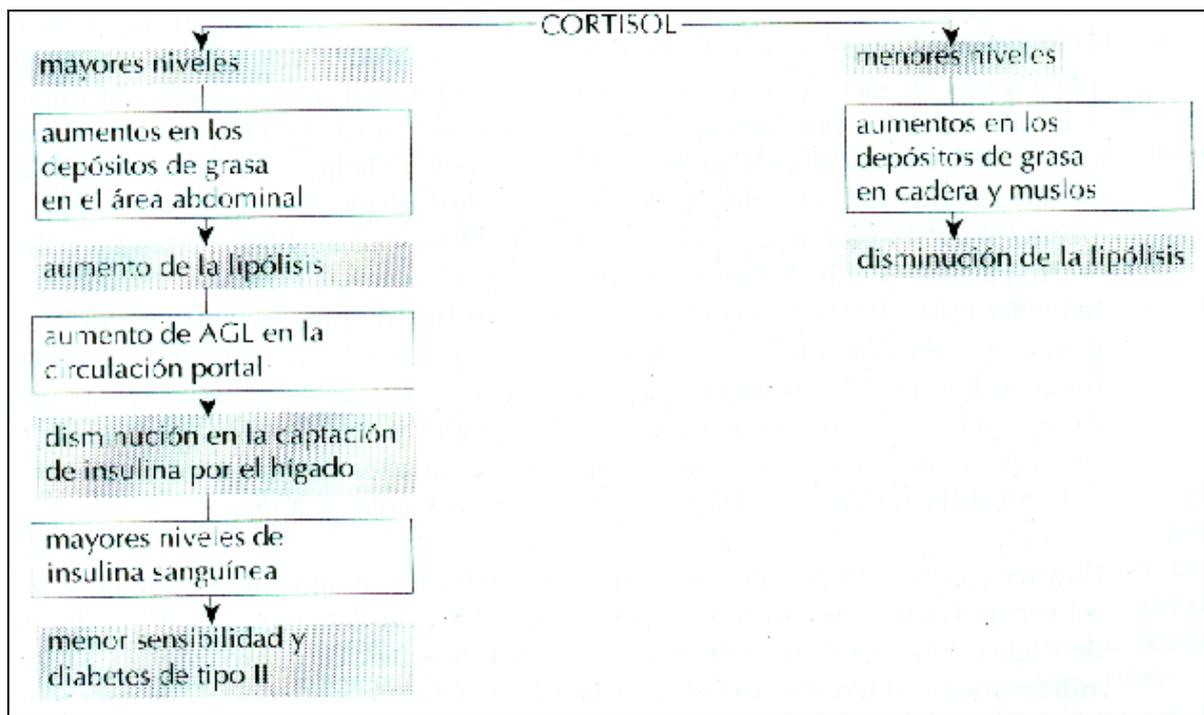


FIGURA 3. Cadena posible de eventos relacionados con el «síndrome metabólico».

La reducción de la adiposidad abdominal a través de intervenciones sobre la salud (por ej., ejercicio aeróbico regular) puede atenuar la resistencia a la insulina asociada con el síndrome metabólico (Goldstein, 1992). La disminución de la adiposidad abdominal reduce el nivel de AGL depositados en la circulación portal, lo cual a cambio, mejora la captación hepática de insulina. El aumento en el «clearance» (lavado) de insulina parece ser el mecanismo inicial de la mayor sensibilidad a la insulina (Després y cols., 1991). Las reducciones en la grasa abdominal interna parecen ser necesarias para producir cambios positivos en el metabolismo de la glucosa (es decir área de glucosa), en los niveles de triglicéridos, y en el cociente HDL/LDL (Després y cols., 1991). Ferland y cols. (1989) reportaron que el BMI y el C/Ci/Ca tuvieron una correlación moderada con la grasa abdominal interna, y con la proporción entre la grasa abdominal interna y la grasa abdominal total. Claramente, se necesita más investigación para determinar si cualquier índice antropométrico puede brindar una perspectiva de la obesidad de Tipo III, en la población en general o en grupos específicos.

Las obesidades de tipo II o III, actuando a través del síndrome metabólico, son potencialmente fuertes antagonistas de una buena salud. Por consiguiente, el especialista se enfrenta con un dilema: por un lado la obesidad de Tipo III es difícil de evaluar dentro del contexto clínico; por el otro, la identificación y el tratamiento de la obesidad de Tipo III puede ser fundamental para obtener resultados positivos en la salud.

### 2.3.1 Pliegues cutáneos específicos y cocientes entre pliegues

Si bien la sumatoria de pliegues cutáneos puede ser utilizada como estimación de la adiposidad general, los pliegues cutáneos específicos y los cocientes entre pliegues cutáneos, pueden ser utilizados para ubicar la distribución de la grasa subcutánea. A menudo, se distinguen dos grandes clases de distribución de las grasas. Muchas mujeres presentan una distribución ginoecoide de la grasa subcutánea (es decir, grasa subcutánea preferentemente distribuida alrededor de las regiones de glúteos y muslos), mientras que los hombres tienden a presentar una distribución androide (es decir, grasa subcutánea preferentemente distribuida en la región abdominal). Ciertos pliegues cutáneos pueden brindar una información más confiable que otros acerca de los riesgos para la salud. Existen datos que sugieren que los pliegues del tronco (por ej., subescapular y abdominal) proveen más información en relación a la salud que los pliegues apendiculares (por ej., muslo frontal y tríceps) (Ducimetière y cols., 1986; Ferland y cols., 1989). El grosor de los pliegues del tronco tiene una correlación positiva con la tensión arterial elevada, con altos niveles de triglicéridos, BMI, angina de pecho, y morbi-mortalidad por ECC (Ducimetière y cols., 1986; Ferland y cols., 1989; Haffner, Stern, Hazuda, Pugh, & Patterson, 1987; Higgins, Kannel, Garrison, Pinsky, & Stokes, 1988; Seidell y cols., 1992). Los coeficientes de correlación entre la sumatoria de los pliegues del tronco y la tensión arterial sistólica ( $r=0.26$ ), colesterol total ( $r=0.24$ ), y niveles de

triglicéridos ( $r= 0.35$ ) son mayores que con la sumatoria de pliegues en las extremidades (0.08, 0.08, y 0.15, respectivamente) (Ducimetière y cols., 1986). Además, los cambios en la obesidad abdominal subcutánea están correlacionados con cambios en los niveles de colesterol ( $r= 0.71$ ) y de LDL ( $r= 0.63$ ) (Després y cols., 1991).

Haffner y cols. (1987) reportaron que en hombres y mujeres mexicanos el cociente subescapular/tríceps (CST) tuvo una correlación con la diabetes de Tipo II y con los niveles de triglicéridos ( $r= 0.20$ ) y de HDL ( $r= -0.16$ ). Además, se pensó que el CST y el CCI/Ca eran indicativos de diferentes eventos metabólicos. Consecuentemente, Haffner y cols. (1987) instaron a los clínicos a medir el CST, además de otros índices metabólicos, cuando se quería obtener un perfil de la adiposidad. De forma similar, Karatsu y cols. (1987) reportaron correlaciones entre el cociente tríceps/su bescapular (es decir la inversa de CST) y los niveles de triglicéridos ( $r= -0.38$ ), colesterol total ( $r= -0.27$ ), LDL ( $r= -0.27$ ), y LIDL ( $r= 0.26$ ) en japoneses que realizaban ejercicios en forma regular. Sin embargo, Seidell y cols. (1992) sólo observaron una correlación significativa entre el CST y los niveles plasmáticos de triglicéridos ( $r= 0.12$ ) cuando se corregía para el BMI, en hombres europeos. Las correlaciones no fueron significativas entre el CST y la tensión arterial diastólica, el colesterol total, y los niveles de HDL, o de insulina. Estos resultados equívocos en las investigaciones con el CST pueden responder a factores (le raza, sexo, y edad dentro de las muestras consideradas y/o a limitaciones en los métodos estadísticos utilizados).

De particular interés es la grasa abdominal subcutánea, la cual es un predictor independiente de riesgo cardiovascular. Una cuestión importante es el grado al cual este depósito refleja la adiposidad abdominal profunda o interna, la cual parece tener una mayor capacidad de comprometer la salud que otros fenotipos de obesidad (Bouchard, 1991). Las correlaciones entre la sumatoria de siete pliegues cutáneos en el tronco (subescapular, suprailíaco, y abdominal) y extremidades (bíceps, tríceps, muslo frontal, y pantorrilla medial) vs. la grasa abdominal total, la grasa abdominal profunda, y la grasa abdominal subcutánea son modestas pero significativas ( $r= 0.60$ ; Ferland y cols., 1989). Estas intercorrelaciones sugieren que casi un tercio de la variación en la adiposidad abdominal profunda podría ser atribuida a los pliegues cutáneos.

No existe un cociente fijo entre la grasa abdominal subcutánea y profunda. Leibel y cols. (1989) reportaron que en hombres y mujeres la grasa

abdominal interna sumaba el 20.9 +/-7.1 % y el 8.1 +/-3.1 % de la adiposidad abdominal total, respectivamente. Este porcentaje es mayor en individuos obesos. Por ejemplo, Ferland y cols. (1989) observaron que en mujeres obesas pre-menopáusicas la grasa abdominal profunda sumaba el 19.0 % (+/- 5; rango: 9-33) de la adiposidad abdominal total. El amplio rango en la adiposidad abdominal interna observado en las mujeres obesas podría estar en función de la edad y/o del estado menstrual (Zamboni y cols., 1992).

Los componentes de grasa superficial y profunda no responden de modo similar a las intervenciones alimentarias o de ejercicio (Després y cols., 1991; Ferland y cols., 1989). Específicamente, las reducciones en la grasa abdominal subcutánea preceden a las del compartimento abdominal interno. Se ha mostrado que el ejercicio aeróbico prolongado reduce significativamente la grasa abdominal subcutánea, pero no la grasa abdominal interna (Després y cols., 1991).

### 2.3.2 Cociente cintura/cadera (CCI/Ca)

Otra forma de describir la distribución de la grasa es utilizar cocientes entre perímetros, tales como el cociente entre la cintura y la cadera. Esta proporción simple está caracterizada por una buena confiabilidad ( $r= 0.92$ ), aunque parece haber un mayor error en la medición del CCI/Ca en las mujeres que en los hombres (Wing y cols., 1992). Sin embargo, la revisión de la literatura sobre el CCI/Ca mostró que hay un alto porcentaje de confusión sobre la ubicación exacta de los sitios para los perímetros de cintura y cadera (Alexander & Dugdale, 1990; Jakicic y cols., 1993). En un grupo de mujeres obesas, los CCI/Ca variaron de 0.76 a 0.95 de acuerdo a los sitios elegidos, colocando ya sea al 23 % o al 100 % de la muestra en la categoría «en riesgo». Los valores limítrofes para un mayor riesgo han variado de 0.91 a 1.00 para los hombres, y de 0.80 a 0.91 para las mujeres. Por consiguiente, las recomendaciones acerca de los valores límite deberían interpretarse en relación a los sitios de medición. En el perfil antropométrico, el CCI/Ca es definido como el cociente entre el perímetro de cintura (item 17 del perfil antropométrico completo) y el perímetro de cadera (item 18 del perfil completo). Los lugares precisos de estos sitios están descritos en el Capítulo 2.

El CCI/Ca ha sido extensamente utilizado para discriminar entre las distribuciones androide (Tipo II) y ginecoide (Tipo IV) de grasas (Bray, 1992b; Larsson y cols., 1984; Sedgwick & 1-lahy, 1991). Los

mayores y menores CCI/Ca, respectivamente, indican mayores distribuciones de grasa androide y ginecoide. Los CCI/Ca superiores a 0.95 y 0.85, para hombres y mujeres respectivamente, tienen un mayor riesgo de enfermedad (Bray, 1992b). Como se ha indicado anteriormente, estos umbrales estarán modificados por el procedimiento y por otros factores que incluyen: edad, raza, nivel actual de obesidad (Seidell, 1992). Larsson (1991) estimó que el 20 % de las ECC dentro

de los E.E.U.U. pueden atribuirse a un exceso de grasa androide (es decir, CCI/Ca > 0.901). Por el contrario, una excesiva grasa ginecoide no está correlacionada con los factores de riesgo para las ECC (Terry, Stefanick, Haskell, & Wood, 1991). La Figura 4 muestra la distribución de los CCI/Ca en la comunidad australiana.

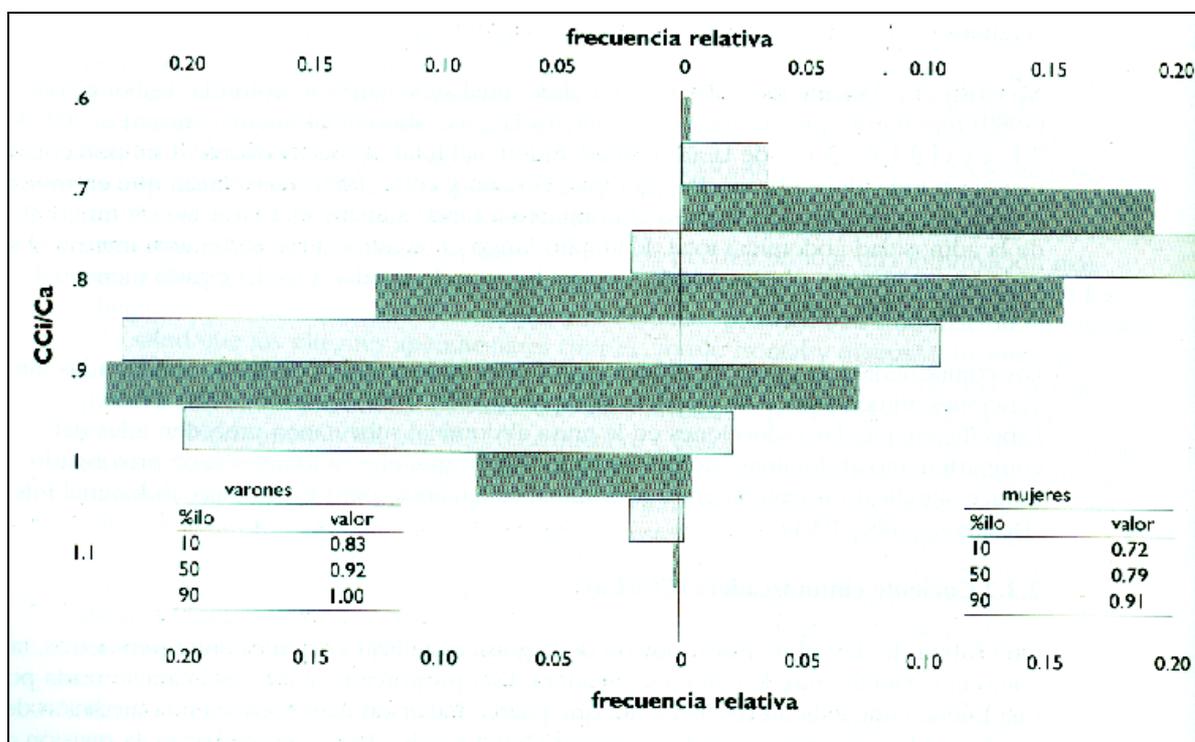


FIGURA 4. Distribución de los valores del cociente entre cintura y cadera (CCI/Ca), en la población adulta australiana (del estudio del Departamento de Artes, Deportes, Medio Ambiente, y Territorios, 1991). Las tablas agregadas muestran los percentiles 10mo., 50mo., y 90mo.

Con frecuencia se han reportado correlaciones significativas entre el CCI/Ca y la ECC (o indicadores de mayor riesgo de ECC) (Hodgson y cols., 1994; Jakicic y cols., 1993), pero no han sido observadas en forma universal, particularmente en los hombres (Hubinger, 1994; Wing y cols., 1992). Esta inconsistencia en la correlación podría deberse, en parte, a la disociación entre los compartimentos subcutáneos e internos- de la grasa abdominal (Busetto y cols., 1992; Ferland y cols., 1989). El valor clínico del M/C a también puede estar modificado por el sexo, el grupo étnico, el nivel de obesidad, y los factores geográficos (Busetto y cols., 1992; Valdez, Seidell, Ahn & Weiss, 1993).

El CCI/Ca parece ser sensible al entrenamiento. En poblaciones obesas, el cambio en el CCI/Ca ocurre como resultado de la pérdida preferencial de grasa abdominal subcutánea. Després y cols. (1991) reportaron que 14 meses de actividad aeróbica regular

en mujeres obesas (BMI = 34.5 +/- 4.3 kg.nr<sup>2</sup>) redujeron la grasa abdominal subcutánea más que la grasa femoral. Las intervenciones parecen reducir la grasa subcutánea antes que la grasa abdominal interna (Després y cols., 1.991). El ejercicio aeróbico prolongado (14 meses) llevó a una disminución del 11 % en la grasa abdominal subcutánea, pero sólo a una reducción del 2.5 % en la adiposidad abdominal profunda. Sin embargo, esta reducción preferencial en la adiposidad de la cintura sobre la cadera podría depender de factores tales como la duración de la intervención, el BMI inicial, y/o el nivel de actividad. Sedgwick y Haby (1991) observaron que las mujeres con BMI iniciales de 25.0 (+/- 4.6) kg.m<sup>-2</sup> que gastaban aproximadamente 21.7 MI durante el entrenamiento, en un programa físico de 10 semanas, mostraban mayores reducciones en el perímetro de cadera que en el de cintura.

### 2.3.3 Índice de conicidad (IC)

Valdez, Seidell, Ahn, y Weiss (1993) desarrollaron el índice de conicidad (IC), el cual puede tener valor clínico cuando se intenta medir la distribución de la grasa. El IC considera al ser humano como un cilindro en su extremo más delgado («score» del IC (le 1.00) hasta dos conos perfectos con una base común en la cintura, para su extremo más ancho, cerca del abdomen Gscore» del IC de 1.73). Se calcula por la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{perímetro}}{0.109 \sqrt{\frac{\text{peso}}{h}}}$$

donde, el perímetro es el perímetro abdominal (nit), medido a nivel del ombligo, el peso es el peso en kg, y h es la altura (mt).

La correlación entre el IC y el CCI/Ca es de moderada a elevada para la mayoría de las poblaciones ( $r= 0.64-0.86$ ) (Valdez y cols., 1993). Los coeficientes de correlación entre el IC y el CCI/Ca vs. los lípidos en sangre fueron similares en 2.240 norteamericanos y europeos (Valdez y cols., 1993). Estos datos sugieren que ambos índices antropométricos pueden tener un similar valor clínico. Valdez y cols. (1993) señalan tres ventajas del IC:

- existe un rango teórico (1.00-1.73);
- puede ser utilizado para realizar comparaciones entre individuos, ya que el perímetro de cintura está corregido para la altura y el peso dentro de la fórmula; y
- no hay necesidad de medir el perímetro de cadera.

Se necesitan más investigaciones para establecer el potencial clínico del IC.

### 2.3.4 Somatotipo

El estudio de la relación entre la morfología corporal y las enfermedades se denomina «medicina constitucional», Carter y Heath (1990, pp. 292-311) han revisado numerosos estudios que examinan las relaciones entre el somatotipo y un rango de enfermedades. Estos estudios están resumidos en la Tabla 1.

Además de los estudios resumidos en la Tabla 1, se han encontrado asociaciones entre el somatotipo y la incidencia de lesiones. Los individuos con un elevado endomorfismo y mesomorfismo son más susceptibles de sufrir esguinces y desgarros, mientras que aquellos con un ectomorfismo alto son propensos a tener lesiones crónicas. Algunos estudios también han observado correlaciones entre los componentes del somatotipo y la postura, mostrando a los mesomorfos con mejor postura que los endomorfos o ectomorfos.

Enfermedad	endomorfismo	mesomorfismo	ectomorfismo
Cancer de cervix uterino		-	
Cancer de endometrio	+		
Enfermedad cardiovascular			
Obesidad	+	+	
Diabetes (espec. Mujeres)	+		
Síndrome de Down	+	+	-
Acondroplasia <sup>a</sup>	+	+	-
Síndrome de Marfan <sup>b</sup>		+	+
Síndrome de Klinefelter <sup>c</sup>		-	+
Dislipidemias (hombres)	+	-	
Síndrome de Legge-Calvé-Perthes <sup>d</sup>		+	

**TABLA 1.** Relaciones entre los componentes del somatotipo y el desarrollo de estados patológicos (resumido de Carter y Heath, 1990, pp. 292-311). El signo «más» (+) indica una relación positiva entre el componente del somatotipo y el desarrollo de la enfermedad. El signo «menos» (-) indica una asociación negativa.

<sup>a</sup>Enano

<sup>b</sup>Enfermedad caracterizada por extremidades muy largas, fuera de proporción, y dedos «como araña»

<sup>c</sup>Feminización en los hombres debido a una patología en los cromosomas

<sup>d</sup>Osteocondritis de la articulación de la cadera

### 3. RECOMENDACIONES: UN SISTEMA DE PERFIL CON MÚLTIPLES PASOS

El método delineado aquí propone un sistema de perfil con múltiples pasos, con el cual los clínicos pueden trabajar evaluando el estado de salud y el riesgo de patologías asociadas con la composición corporal. La necesidad de un sistema multi-pasos fue señalado en forma precisa por Seidell y cols. (1992, p.21): «diferentes indicadores de la distribución de la grasa están relacionados con distintos aspectos de... la enfermedad». Cuando se utiliza este método de perfil, se deberían considerar distintos puntos.

- La adiposidad, la distribución de la grasa, y el peso deberían evaluarse de modo regular, a lo largo de toda la vida. A modo de ilustración, se ha mostrado que el aumento en los niveles de obesidad incrementa el riesgo de ECC más que la obesidad estable (Bray, 1992b).
- Se necesita tener en cuenta la edad y la historia médica del paciente. Por ejemplo, la relación entre ECC y obesidad aumenta cuanto más tiempo la persona está excesivamente obesa. En el estudio de Framingham, la obesidad y la ECC tuvieron una fuerte correlación después de 26, pero no después de 12 años de seguimiento (Ducimetière y cols., 1986).
- También existe la necesidad de tener en cuenta las diferencias de sexo, ya que la obesidad parece tener un menor efecto en las mujeres que en los hombres (Bray, 1992b). Bray (1992b) reportó que las mujeres necesitaban aumentar 20 kg más de grasa que sus pares masculinos para producir similares deterioros en la función de la glucosa y en la tensión arterial.
- Para aquellos sujetos cuyos perfiles antropométricos sugieren un riesgo de desarrollar el síndrome metabólico, la tensión arterial, la tolerancia a la glucosa y/o los perfiles lipídicos deberían controlarse en forma regular.

#### Paso 1 - CCI/Ca

El CCI/Ca es la primera medición antropométrica que utilizamos para identificar si la salud está en riesgo debido al peso y/o a la adiposidad. Se ha mostrado que el CCI/Ca es un excelente predictor antropométrico de morbi-mortalidad por ECC, de accidentes cerebrovasculares, y de diabetes mellitus en hombres y mujeres (Ducimetière y cols., Ohlson y cols., 1985), especialmente en individuos menores de 70 años, y no obesos todavía (Gerber y cols., 1987; Larsson, 1991; Larsson y cols., 1994; Seidell, 1992). Hombres y mujeres con CCI/Ca de  $\geq 0.95$  y  $\geq 0.80$ , respectivamente, pueden ser clasificados como obesos

de Tipo II (es decir, obesidad abdominal subcutánea; Bray, 1992b). Claramente, tal clasificación está considerada como un indicador de posibles problemas para la salud, y es recomendable alguna intervención.

Son necesarios cambios bastante grandes en el peso antes de que ocurran cambios significativos en el CCI/Ca. Wing y cols. (1992) reportaron que en los hombres una disminución de 9.8 kg en el peso como resultado del ejercicio produjo una reducción en el CCI/Ca (0.035  $\pm$  0.03), mientras que una pérdida de 6.4 kg en las mujeres no resultó en tal cambio (0.006  $\pm$  0.005). Además, los cambios en el CCI/Ca en las mujeres no estuvieron relacionados con cambios en los niveles de colesterol, HDL, o triglicéridos; tensión sanguínea sistólica o diastólica; y tolerancia a la glucosa. En los hombres, el cambio en el CCI/Ca tuvo una correlación con el colesterol ( $r=0.35$ ) y triglicéridos ( $r=0.32$ ), y la tensión arterial sistólica ( $r=0.21$ ) y diastólica ( $r=0.25$ ). Sin embargo, ninguna de estas correlaciones fueron significativas cuando se realizaron ajustes por el BMI. La razón por la cual el CCI/Ca parece de poco valor para controlar los efectos de las intervenciones sobre la salud es que la grasa, aparentemente, se reduce diferencialmente en dos niveles. Primero, en algunos casos existe una reducción preferencial en la grasa ginecoide, y en otros en la grasa androide; y segundo, las disminuciones en la grasa subcutánea e interna no necesariamente están ligadas (Després y cols., 1991; Ferland y cols., 1989; Sedgwick & Haby, 1992).

De acuerdo a este sistema cualquiera que presente un CCI/Ca elevado debería considerarse como posible candidato para intervenciones sobre su salud.

#### Paso 2 - BMI

La capacidad para identificar personas en riesgo aumenta cuando se combina la información del BMI y del CCI/Ca. El BMI y el CCI/Ca evalúan fundamentalmente cualidades diferentes (el denominador común entre los dos índices varía entre el 9 y el 36 % en los hombres, y se cree que es menor al 1 % en las mujeres) (Hodgson y cols., 1994; Laws, Terry & Barrett-Connor, 1990; Haffner y cols., 1987; Ohlson y cols., 1985; Wing y cols., 1992). La combinación entre la obesidad, androide y un alto BMI incrementa las chances de desarrollar ECC y diabetes mellitus (Lapidus y cols., 1984; Larsson y cols., 1984; Ohlson y cols., 1985). Si bien las correlaciones entre el CCI/Ca y la mayoría de los lípidos en sangre son moderadas ( $r=0.27-0.39$ ), en individuos que presentan un alto BMI ( $\geq 29.6 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ), son de cualquier modo mayores que las observadas en individuos con BMI más bajos (Jackicic y cols.,

1993). Sin embargo, un bajo BMI en combinación con un alto CCI/Ca aparentemente aumenta el riesgo de ECC y la muerte por todas las causas en hombres y mujeres (Lapichrs y cols., 1984; Larsson y cols., 1984; Tabla 2). La probabilidad relativa de ECC fue de 20.8 para los hombres con los CCI/Ca más elevados y tertiles (tercios) más bajos de BMI, y sólo de 12.4 para los hombres con los tertiles más altos de CCI/Ca y BMI (Larsson y cols., 1984). "También se ha reportado que el riesgo de mortalidad por todas las causas fue menor en los hombres que estuvieron en los tertiles más bajos y más altos para el CCI/Ca y BMI, respectivamente (Larsson y cols., 1984). Esta conformación corporal no es extraña en individuos físicamente activos (mesomórficos). Wing y cols. (1992) observaron que el BMI era superior al CCI/Ca en términos de controlar los cambios como resultado de una intervención física, en hombres y mujeres con

sobrepeso. Los cambios en el BMI tuvieron una correlación significativa, aún cuando se corrigió para el CCI/Ca, con los cambios en los niveles de colesterol plasmático (hombres  $r=0.35$ ; mujeres  $r=0.29$ ) y triglicéridos (hombres  $r=0.35$ ; mujeres  $r=0.29$ ) (Wing y cols., 1992). En el caso de los hombres, las inter-correlaciones también fueron significativas con la tensión arterial sistólica ( $r=0.37$ ) y diastólica ( $r=0.45$ ). Sin embargo, está claro que aún queda por determinar cuán efectivo es el BMI, y para tal caso también el CCI/Ca, para controlar la efectividad de la intervención en individuos con bajos BMI y altos CCI/Ca antes de comenzar la misma.

Nuestra recomendación es que individuos que presentan un elevado CCI/Ca, en combinación ya sea con un alto o bajo BMI, deberían comenzar con intervenciones para su salud.

HOMBRES		CCI/Ca		
BMI	tertilo más bajo	Tertilo más bajo 13.1	Tertilo medio 13.1	Tertilo más alto 29.2
	tertilo medio	13.1	13.1	19.0
	tertilo más alto	5.3	8.8	18.2
MUJERES				
BMI	tertilo más bajo	Tertilo más bajo 7.6	Tertilo medio 4.7	Tertilo más alto 7.0
	tertilo medio	2.5	4.7	5.2
	tertilo más alto	1.0	4.7	6.3

**TABLA 2.** Porcentaje de probabilidad de mortalidad por todas las causas, en relación a los tertiles de BMI y CCI/Ca, en hombres (54-68 años) y mujeres (38-60 años) europeos. (Datos adaptados de Larsson y cols., 1984 y Lapidus y cols., 1984).

### Paso 3 - Pliegues cutáneos del tronco

Es aconsejable, por distintas razones, efectuar una serie de mediciones de pliegues cutáneos en el tronco (subescapular, abdominal, supraespinal). En primer lugar, como se ha discutido anteriormente, los pliegues del tronco tienen una mejor correlación con las enfermedades que los pliegues de las extremidades (Ducimetière y cols., 1986; 1-liggings y cols., 1988). En segundo término, es deseable tener una estimación de la adiposidad abdominal subcutánea absoluta. Esto será importante al momento de controlar los efectos de las intervenciones para la reducción de grasas, ya que el CCI/Ca podría no detectar los cambios en la grasa de la región abdominal (ver anteriormente). Es de esperar que las intervenciones reduzcan la adiposidad abdominal subcutánea, aunque no debería suponerse que tales disminuciones, particularmente al comienzo de una intervención, reduzcan también la adiposidad de tipo III (ver previamente) (Després y cols., 1991). En tercer lugar, la grasa abdominal subcutánea está implicada en el síndrome metabólico (ver arriba), y consecuentemente, reducir la obesidad

de tipo II puede mejorar los índices de salud (Després y cols., 1991).

### Normas de población: la Escala Oz

El antropometrista que desee dar un consejo sobre temas de salud se enfrenta con el problema de determinar dónde se encuentra su paciente en relación con las normas poblacionales. La Escala Oz (ver Capítulo 5) es un sistema que relaciona los valores antropométricos individuales con las normas de la población australiana. La Escala Oz utiliza la similitud geométrica para normalizar los pliegues cutáneos, perímetros, perímetros corregidos, y el peso. Los valores individuales son corregidos por la altura. Los datos han sido recolectados en un estudio de gran escala ( $n=1.263$ ) con la población australiana (Departamento de Artes, Deporte, Medio Ambiente, y Territorios, 1992). Los valores corregidos por la altura han sido calculados y agrupados según el sexo y la edad (se han utilizado franjas de edades de 18-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69, y 70 + años). Las distribuciones de algunas variables (notablemente los pliegues cutáneos) están marcadamente desviadas. Por

esta razón, se han calculado los percentiles para cada variable y cada grupo específico de edad y sexo, en lugar de utilizar las medias y desvíos standard. De esta forma, los valores de un individuo pueden ser asignados a un «ranking» de percentil específico para su sexo y edad.

Estos valores de referencia pueden ser considerados como normas descriptivas, hasta el punto que se han tenido en cuenta los principales determinantes del tamaño y la forma (es decir, edad y sexo). Por ejemplo, una calificación (le percentil de 20 % para el pliegue de tríceps, corregido por la altura, significa que el pliegue tricípital corregido del individuo es mayor que el pliegue tricípital corregido del 20 % de los australianos del mismo sexo y edad. Esto es importante ya que brinda al clínico la oportunidad de ubicar al individuo dentro del contexto de una población. Las Tablas 3a y 3b muestran los rankings (le percentiles para el BMI, CCI/Ca, y sumatoria de pliegues cutáneos del tronco (supraespinal + mubescapular + abdominal), corregidos por la altura, para los grupos de edades en la población australiana. En el Capítulo 5 se presentan los detalles sobre cómo calcular los valores de la Escala Oz.

#### 4. CONCLUSION

El síndrome metabólico ofrece una explicación convincente de porqué la distribución de la grasa, más que los niveles de grasa en sí, puede afectar negativamente a la salud. La excesiva adiposidad abdominal subcutánea y/o profunda es de particular preocupación. Desafortunadamente, no es posible cuantificar antropométricamente, o controlar en forma directa, la adiposidad abdominal interna (profunda). Además, la disociación de los compartimentos de grasa subcutánea y profunda hacen que sea problemática la estimación de la adiposidad interna, a partir de mediciones antropométricas. Por otro lado, el costo de la RMI impide su uso extensivo. Sin embargo, las evaluaciones antropométricas regulares (CCI/Ca, RMN, y pliegues cutáneos del tronco) junto con los tests clínicos <standard> (tensión arterial, lípidos en sangre, y tolerancia a la glucosa) pueden mejorar la calidad de las intervenciones sobre la salud que los clínicos pueden brindar a sus pacientes, en relación a la adiposidad.

percentiles para hombres de 18-29 años															
	1	2	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
<b>BMI</b>	17.5	18.1	18.8	19.9	21.2	22.2	23.2	23.6	24.7	25.2	26.3	27.5	29.2	31.2	36.6
<b>CG/Ca</b>	0.77	0.78	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85	0.86	0.88	0.89	0.93	0.96	0.99	1.00
<b>Σ3 PC</b>	14.4	15.0	16.6	18.3	20.4	25.1	31.6	35.5	43.0	51.8	57.6	76.8	91.1	95.6	111.3
percentiles para hombres de 30-39 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	5	10	20										
<b>BMI</b>	18.2	18.7	20.3	21.2	22.3	23.4	24.1	24.9	25.1	26.0	27.0	29.5	30.6	33.2	33.8
<b>CG/Ca</b>	0.80	0.81	0.82	0.84	0.86	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.94	0.97	1.00	1.07	1.08
<b>Σ3PC</b>	15.9	16.5	18.9	25.8	34.3	41.6	45.3	50.6	57.0	62.0	69.2	77.3	94.6	99.0	116.0
percentiles para hombres de 40-49 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	5	10	20										
<b>BMI</b>	17.7	20.1	20.9	22.0	22.6	23.7	24.2	25.2	26.1	27.4	28.4	30.4	32.3	33.8	34.2
<b>CCI/Ca</b>	0.79	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.91	0.94	0.95	0.98	0.99	1.02	1.05	1.06
<b>Σ3PC</b>	17.8	18.1	27.0	29.9	38.8	44.8	49.0	55.5	62.2	66.7	71.1	85.4	96.4	108.3	110.9
percentiles para hombres de 50-59 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	3	10	20										
<b>BMI</b>	20.4	21.1	21.8	22.6	23.4	23.9	24.9	25.9	26.4	28.0	28.7	30.6	31.8	34.7	36.2
<b>CCI/Ca</b>	0.81	0.82	0.84	0.86	0.89	0.91	0.92	0.94	0.95	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.09
<b>Σ3PC</b>	20.9	21.9	25.2	31.5	39.8	44.4	49.1	54.1	59.8	66.2	72.6	85.1	95.4	101.5	110.2

percentiles para hombres de 60-69 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	3	10	20										
<b>BMI</b>	18.1	20.4	22.4	23.1	24.0	24.6	25.0	26.1	27.1	27.9	28.8	29.9	31.4	31.9	32.6
<b>CCi/Ca</b>	0.81	0.83	0.87	0.88	0.92	0.93	0.95	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02	1.03	1.05	1.06
<b>Σ3PC</b>	19.6	23.2	27.5	36.8	43.5	46.6	50.5	55.0	59.7	62.9	70.3	83.1	87.3	94.1	97.0
percentiles para hombres de 70+ años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	3	10	20										
<b>BMI</b>	18.4	19.5	21.0	22.1	22.7	24.5	25.0	25.5	26.0	26.6	27.2	28.9	31.2	35.4	36.8
<b>CCi/Ca</b>	0.86	0.86	0.88	0.90	0.91	0.93	0.94	0.96	0.98	1.00	1.00	1.02	1.03	1.05	1.06
<b>Σ3PC</b>	21.1	21.6	24.0	27.9	33.4	39.3	44.7	47.3	50.3	56.5	59.0	66.1	70.0	92.0	107.8

**TABLA 3a.** Valores correspondientes a distintos percentiles para el BMI, CCi/Ca, y surnatoria de tres pliegues cutáneos «centrales» corregidos por la altura (subescapular, supraespinal, abdominal; Y,3PC), en hombres Australianos.

percentiles para mujeres de 18-29 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	5	10	20										
<b>BMI</b>	17.4	17.6	19.3	20.0	20.6	21.2	21.8	22.2	22.8	23.4	24.5	27.1	30.3	32.2	33.8
<b>CG/Ca</b>	0.65	0.68	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77	0.80	0.83	0.86	0.88	0.96
<b>Σ3 PC</b>	19.9	23.5	25.9	30.6	35.5	42.0	45.7	51.6	57.2	67.9	77.4	90.6	98.0	110.1	112.8
percentiles para mujeres de 30-39 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	5	10	20										
<b>BMI</b>	17.9	17.9	18.7	19.1	20.1	21.0	21.9	22.4	23.5	24.7	26.1	30.5	31.9	35.3	36.3
<b>CG/Ca</b>	0.68	0.68	0.70	0.71	0.73	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.82	0.87	0.91	0.92	0.93
<b>Σ3PC</b>	17.5	20.5	23.6	26.7	34.2	40.5	46.8	52.4	59.4	66.7	82.9	99.1	109.2	113.7	115.4
percentiles para mujeres de 40-49 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	5	10	20										
<b>BMI</b>	17.9	18.3	19.4	20.3	21.3	22.5	23.3	24.2	25.1	26.7	28.5	31.1	34.6	38.6	39.8
<b>CCi/Ca</b>	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.75	0.77	0.78	0.81	0.83	0.86	0.88	0.91	0.92	0.95
<b>Σ3PC</b>	20.7	21.3	29.2	33.1	43.7	53.0	67.6	74.9	81.8	87.9	96.3	109.6	116.3	122.0	124.1
percentiles para mujeres de 50-59 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	3	10	20										
<b>BMI</b>	18.2	18.7	19.5	20.2	21.6	22.8	23.7	24.3	25.0	26.6	28.5	31.8	33.5	34.8	38.0
<b>CCi/Ca</b>	0.70	0.70	0.71	0.73	0.74	0.77	0.78	0.80	0.81	0.84	0.87	0.91	0.94	0.98	1.00
<b>Σ3PC</b>	21.2	24.1	27.8	36.5	51.0	60.3	73.3	77.7	83.5	92.4	104.9	115.4	118.7	121.2	125.3
percentiles para hombres de 60-69 años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	3	10	20										
<b>BMI</b>	18.1	20.4	22.4	23.1	24.0	24.6	25.0	26.1	27.1	27.9	28.8	29.9	31.4	31.9	32.6
<b>CCi/Ca</b>	0.81	0.83	0.87	0.88	0.92	0.93	0.95	0.96	0.98	0.99	1.00	1.02	1.03	1.05	1.06
<b>Σ3PC</b>	19.6	23.2	27.5	36.8	43.5	46.6	50.5	55.0	59.7	62.9	70.3	83.1	87.3	94.1	97.0

percentiles para mujeres de 70+ años						30	40	50	60	70	80	90	95	98	99
	1	2	3	10	20										
<b>BMI</b>	19.4	19.7	20.9	21.9	22.6	23.9	25.4	26.4	28.2	29.0	29.6	31.2	31.6	33.8	34.5
<b>CCi/Ca</b>	0.76	0.76	0.77	0.79	0.84	0.85	0.86	0.89	0.91	0.92	0.94	0.96	0.98	0.99	0.99
<b>Y3PC</b>	27.6	29.3	36.1	51.0	59.7	64.5	67.2	79.7	85.2	91.8	99.2	103.8	107.3	109.2	109.5

**TABLA 3b.** Valores correspondientes a distintos percentiles para el BMI, CCI/Ca, y sumatoria de tres pliegues cutáneos «centrales» corregidos por la altura (subescapular, supraespinal, abdominal; Y3PC), en mujeres Australianas.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alexander, H., & Dugdale, A. (1990).

Which waist-hip ratio?

**The Medical journal of Australia, 153**, 367.

Ashley, FW, & Kannel, W.B. (1974).

Relation of weight change to changes in atherogenic traits.

**Journal of Chronic Disorders, 7**, 103-114.

Barnard, R.J., & Wen, S.J. (1994).

Exercise and diet in the prevention and control of the metabolic syndrome.

**Sports Medicine, 18**, 218-228.

Bergstrom, R.W, Leonetti, D.L., Newell-Morris, L.L, Shuman, WP, Wahl, PW, & Fujimoto, WY (1990).

Association of plasma triglyceride and C-peptide with coronary heart disease in Japanese-American men with a high prevalence of glucose intolerance.

**Diabetologia, 33**, 489-496.

Bouchard, C. (1991).

Heredity and the path to overweight and obesity.

**Medicine and Science in Sports and Exercise, 23**, 285-291.

Bouchard, C. (1994).

Positive and negative effects of exercise: biological perspectives.

In **Proceedings of the International Conference of Science and Medicine in Sport, 5-8**

**October, 1994.**

Brisbane: Sports Medicine Australia.

Bray, G.A. (1992a).

Obesity increases risk for diabetes.

**International Journal of Obesity, 16 (Suppl. 4)**, S 13-S 17.

Bray, G.A. (1992b).

Pathophysiology of obesity.

**American Journal of Clinical Nutrition, 55**, 488S-494S.

Busetto, L., Baggio, M.B., Zurlo, F, Carraro, R., Digito, M., & Enzi, G. (1992).

Assessment of abdominal fat distribution in obese patients: anthropometry versus computerized tomography.

**International Journal of Obesity, 16**, 731-736.

Buskirk, E.R. (1987).

Obesity.

In J.S. Skinner (Ed.) **Testing and exercise prescription for special cases: theoretical bases and clinical applications** (1st ed.). Philadelphia: Lea & Febiger.

Cater, J.E.L., & Heath, B.H. (1990).

**Somatotyping - development and applications.**

Cambridge: Cambridge University Press.

Department of the Arts, Sport, the Environment and Territories (1992).

**Pilot survey of the fitness of Australians.**

Canberra: Australian Government Publishing Service.

Després, J.-P, Pouliot, M.-C., Moorjani, S., Nadeau, A., Tremblay, A., Lupien, P.J., Thériault, G., & Bouchard, C. (1991).

Loss of abdominal fat and metabolic response to exercise training in obese women.

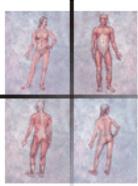
**American Journal of Physiology, 261**, E 159-E 167.

- Diaz, E.O., Prentice, A.M., Goldberg, G.R., Murgatroyd, P.R., & Coward, W.A. (1992). Metabolic response to experimental overfeeding in lean and overweight healthy volunteers. **American Journal of Clinical Nutrition**, **56**, 641-655.
- Donahue, R.P., Orchard, T.J., Becker, D.J., Kuller, L.H., & Drash, A.L. (1987). Sex differences in the coronary heart disease risk profile: a possible role for insulin. **American Journal of Epidemiology**, **125**, 650-657.
- Drenick, E.J., Brickman, A.S., & Gold, E.M. (1972). Dissociation of the obesity-hyperinsulinism relationship following dietary restriction and hyperalimentation. **American Journal of Clinical Nutrition**, **25**, 746-755.
- Ducimetière, P., Richard, J., & Cambien, F. (1986). The pattern of subcutaneous fat distribution in middle-aged men and the risk of coronary heart disease: the Paris prospective study. **International Journal of Obesity**, **10**, 229-240.
- Ferland, M., Després, J.-P., Tremblay, A., Pinault, S., Nadeau, A., Moorjani, S., Lupien, P.J., Thériault, G., & Bouchard, C. (1989). Assessment of adipose tissue distribution by computed axial tomography in obese women: association with body density and anthropometric measurements. **British Journal of Nutrition**, **61**, 139-148.
- Garfinkel, L. (1985). Overweight and cancer. **Annals of Internal Medicine**, **103**(6.2), 1034-1036.
- Garn, S.M., Leonard, W.R., & Hawthorne, V.M. (1986). Three limitations of the body mass index. **American Journal of Clinical Nutrition**, **44**, 996-997.
- Garrow, J.S., & Webster, J. (1985). Quetelet's Index ( $W/H^2$ ) as a measure of fatness. **International Journal of Obesity**, **9**, 147-153.
- Gerber, L.M., Madhavan, S., & Alderman, M.H. (1987). Waist-to-hip ratio as an index of risk for hyperglycemia among hypertensive patients. **American Journal of Preventive Medicine**, **3**, 64-68.
- Goldstein, D.J. (1992). Beneficial health effects of modest weight loss. **International Journal of Obesity**, **16**, 397-415.
- Haffner, S.M., Stern, M.P., Hazuda, H.P., Pugh, J., & Patterson, J.K. (1987). Do upper-body and centralised adiposity measure different aspects of regional body-fat distribution? Relationship to non-insulin-dependent diabetes mellitus, lipids, and lipoproteins. **Diabetes**, **36**, 43-51.
- Higgins, M., Kannel, W., Garrison, R., Pinsky, J., & Stokes, I. (1988). Hazards of obesity - the Framingham experience. **Acta Medica Scandinavica (Suppl. 723)**, 23-36.
- Hodgson, J.M., Wahlqvist, M.L., Balazs, N.D.H., & Boxall, J.A. (1994). Coronary atherosclerosis in relation to body fatness and its distribution. **International Journal of Obesity**, **18**, 41-46.
- Hubinger L. (1994). **Lipoprotein [a] (Lp(a)) levels and physical activity in middle-aged males.** Unpublished Doctoral Thesis, The University of Queensland.
- Jakicic, J.M., Donnelly, J.E., Jaward, A.F., Jacobsen, D.J., Gunderson, S.C., & Pascale R. (1993). Association between blood lipids and different measures of body fat distribution: effects of BMI and age. **International Journal of Obesity**, **17**, 131-137.
- Karatsu, K., Nagao, N., Arie, J., Inomoto, T., Imai, Y., & Sawada, Y. (1987). Classification of subcutaneous skinfold thickness in the middle-aged by cluster analysis, and the

- relationship between its distribution pattern and serum cholesterol.  
**Journal of Sports Medicine**, **27**, 453-460.
- Kissebah, A.H., Vydellingum, N., Murray, R., Evans, D.J., Hartz, A.J., Kalkhoff, R.K., & Adams, P.W. (1982).  
Relation of body fat distribution to metabolic complications of obesity.  
**Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism**, **54** (2), 254-260.
- Krotkiewski, M., Björntorp, P., Sjöström, L., & Smith, U. (1983).  
Impact of obesity on metabolism in men and women: importance of regional adipose tissue distribution.  
**Journal of Clinical Investigation**, **72**, 1150-1162.
- Lapidus, L., Bengtsson, C., Larsson, B., Pennert, K., Rybo, E., & Sjöström, L. (1984).  
Distribution of adipose tissue and risk of cardiovascular disease and death: a 12 year follow up of participants in the population study of women in Gothenburg, Sweden.  
**British Medical Journal**, **289**, 1257-1260.
- Larsson, B., Svardsudd, K., Welin, L., Eriksson, H., Wilhelmsen, P., Björntorp, P., & Tibblin, G. (1984).  
Abdominal adipose tissue distribution, obesity, and risk of cardiovascular disease and death: 13 year follow up of participants in the study of men born in 1913.  
**British Medical Journal**, **288**, 1401-1404.
- Larsson, B. (1991).  
Obesity, fat distribution and cardiovascular disease.  
**International Journal of Obesity**, **15**, 53-57.
- Laws, A., Terry, R.B., & Barrett-Connor, E. (1990).  
Behavioral covariates of waist-to-hip ratio in Rancho Bernardo.  
**American Journal of Public Health**, **80**, 1358-1362.
- Leibel, R., Edens, N.K., & Freid, S.K. (1989).  
Physiological basis for the control of body fat distribution in humans.  
**Annual Review of Nutrition**, **9**, 417-443.
- Lissner, L., Odell, P.M., D'Agostino, R.B., Stokes, J., Kreger, B.E., Belanger, A.J., & Brownell, K. (1991).  
Variability of body weight and health outcomes in the Framingham population.  
**The New England Journal of Medicine**, **324**, 1839-1844.
- Martin, A.D., & Drinkwater, D.T. (1991).  
Variability in the measures of fat: assumptions or technique?  
**Sports Medicine**, **11**, 277-288.
- Miller, W. C. (1991).  
Diet composition, energy intake, and nutritional status in relation to obesity in men and women.  
**Medicine and Science in Sports and Exercise**, **23**, 280-284.
- Ohlson, L.O., Larsson, B., Svardsudd, K., Welin, L., Eriksson, H., Wilhelmsen, P., Björntorp, R., & Tibblin, G. (1985).  
The influence of body fat distribution on the incidence of diabetes mellitus: 13.5 years follow-up of the participants in the study of men born in 1913.  
**Diabetes**, **34**, 1055-1058.
- Schell, J., & Leelarthaeapin, B. (1994).  
**Physical fitness assessment in exercise and sport science**.  
Matraville, NSW: Leelar Biomediscience.
- Schmidt, M.I., Duncan, B.B., Canani, L.H., Karohl, C., Chambless, L. (1992).  
Association of waist-hip ratio with diabetes mellitus.  
**Diabetes Care**, **15**(7), 912-914.
- Sedgwick, A.W., & Haby, M. (1991).  
Effects of exercise on female body shape.  
**The Australian Journal of Science and Medicine in Sport**, **23**(3), 75-80.
- Seidell J.C. (1992).  
Regional obesity and health.  
**International Journal of Obesity**, **16** (Suppl. 2), S3 I -S34.
- Sjöström, L.V. (1992a).  
Morbidity of severely obese subjects.  
**American Journal of Clinical Nutrition**, **55**, 508S-515S.

- Sjastrom, L.V. (1992b).  
Mortality of severely obese subjects.  
**American Journal of Clinical Nutrition, 55**,  
516S-523S.
- Society of Actuaries and Association of Life  
Insurance Medical Directors of America (1979).  
**Build study.**  
Chicago.
- Terry, R.B., Stefanick, M.L., Haskell, W L., & Wood,  
PD. (1991).  
Contributions of regional adipose tissue  
depots to plasma lipoprotein concentrations in  
overweight  
men and women: possible protective effects  
of thigh fat.  
**Metabolism, 40**, 733-740.
- Valdez, R., Seidell, J.C., Ahn, Y.L., & Weiss, K.M.  
(1993).  
A new index of abdominal adiposity as an  
indicator of risk for cardiovascular disease:  
a cross-population study.  
**International Journal of Obesity, 17**, 77-82.
- Waller, H.T (1983).  
Height, weight and mortality: the Norwegian  
experience.  
**Acta Medica Scandinavica (Suppl. 3)**, 679.
- Wing, R.R., Jeffery, R.W, Burton, L.R., Thorson, C.,  
Kuller, L.H., & Folsom, A.R. (1992).  
Change in waist-hip ratio with weight loss  
and its association with change in  
cardiovascular  
risk factors.  
**American Journal of Clinical Nutrition, 55**,  
1086-1092.
- Zamboni M., Armellini, F, Milani, M.P, De Marchi,  
M., Todesco, T, Robbi, R., Bergamo-Andreis, I.A., &  
Bosello,  
O. (1992).  
Body fat distribution in pre- and post-  
menopausal women: metabolic and  
anthropometric variables  
and their inter-relationships.  
**International Journal of Obesity, 16**, 495-  
504.

## CAPÍTULO 13



# ACREDITACION EN ANTROPOMETRIA: UN MODELO AUSTRALIANO

*Christopher Gore, Kevin Norton, Tim Olds, Nancy Whittingham, Kim Birchall, Melissa Clough, Briony Dickerson, y Loretta Downie*

## 1. INTRODUCCION

En 1993, el Esquema de Asistencia de Procedimientos Standards para Laboratorios (EAPSL) de la Comisión de Deportes de Australia (CDA) se propuso mejorar la calidad (de las evaluaciones antropométricas llevadas a cabo en los institutos deportivos estatales y en las academias de deporte, que normalmente evalúan a los deportistas de élite. El EAPSL comenzó trabajando con miembros de la Sociedad Internacional de Avances en Cineantropometría (ISAK) para desarrollar cursos de entrenamiento y un programa de acreditación para la antropometría. Al mismo tiempo, diversas Universidades Australianas fueron enseñando antropometría a sus estudiantes, y también fueron llevando a cabo cursos de entrenamiento para profesionales en el área de la salud y el fitness. Si bien muchos profesores estaban utilizando los lineamientos propuestos por ISAK, aún existía una considerable variabilidad en las técnicas antropométricas que se realizaban en Australia. Con esta base como punto de partida, se realizaron intentos para lograr un consenso en antropometría dentro de Australia. Actualmente, ISAK ha sido aceptada por distintos grupos profesionales australianos como el cuerpo de gobierno para los asuntos relacionados con la práctica y la teoría de la antropometría.

Si bien los cursos iniciales (1993-1994) fueron dirigidos a científicos en el área del deporte, posteriormente fueron generalizados (los, participando en ellos académicos que trabajaban en las Universidades, estudiantes universitarios en distintas áreas, incluyendo Ciencias del Deporte, Nutrición, Enfermería, Psicología y Ergonomía, y profesionales de la salud y del «fitness»). El desarrollo de los cursos nacionales y el sistema de acreditación presentado en este capítulo es uno de los primeros intentos por estandarizar la antropometría a través de un amplio espectro de disciplinas. Una característica de esta estandarización nacional es el establecimiento de una base centralizada de datos antropométricos, la Base Australiana de Datos Antropométricos (AADBase),

que compara las mediciones llevadas a cabo por antropometristas acreditados en toda Australia. Es de esperar que sistemas similares de acreditación se adopten en otros países, de modo que sea común la uniformidad en las técnicas antropométricas y el entrenamiento. Esto permitiría que los datos colectados en diferentes países sean acumulados en una base de datos global, quizás bajo la dirección de ISAK. En este aspecto, los cursos australianos pueden brindar un modelo para que utilicen otros países.

El concepto de un orden jerárquico de cuatro niveles estuvo basado en los cursos del Consejo Australiano de Entrenamiento para entrenadores. Los tres primeros niveles (de antropometría) son otorgados en base a un entrenamiento formal teórico y práctico. Esto puede estar seguido por un Nivel 4 (antropometrista «de criterio»), el cual es otorgado, por ISAK, quien ha determinado sus propios requerimientos para este nivel de acreditación.

Uno de los elementos claves del esquema Australiano de acreditación es que todos los niveles tienen que presentar los datos del error técnico de medición (ETM), en 20 sujetos, como indicación de la precisión satisfactoria de las evaluaciones. Este es un método objetivo para mantener el control de calidad de todas las personas que son acreditadas. Además, sólo los Niveles 3 y 4 son acreditados con responsabilidad para llevar a cabo los cursos de entrenamiento en antropometría, donde los certificados serán entregados por el EAPSL.

Un resultado directo de los primeros cursos de entrenamiento en 1993-1994 fue el desarrollo de normas curriculares para estandarizar los cursos en toda Australia. Las páginas siguientes delinean los requerimientos esenciales para los cursos de Nivel 1, 2, y 3, y dan algunos ejemplos de las formas en que los materiales pueden ser presentados.

## 2. NORMAS DE ACREDITACION

En términos generales, los cuatro niveles de acreditación en antropometría son:

- Nivel 1 (Técnico - Perfil restringido): una persona que puede demostrar precisión técnica adecuada para medir la estatura de pie, el peso, los nueve pliegues cutáneos, cinco perímetros, y dos diámetros incluidos en las dimensiones antropométricas «restringidas».
- Nivel 2 (Técnico - Perfil completo): una persona que puede demostrar precisión técnica adecuada en las 40 dimensiones antropométricas.
- Nivel 3 (Instructor): Además de la competencia técnica, una persona de Nivel 3 tiene el conocimiento teórico adecuado sobre antropometría, para poder enseñar y acreditar a antropometristas de Nivel 1 y 2.

- Nivel 4 (Antropometrista de criterio): un antropometrista de criterio tiene muchos años de experiencia llevando a cabo mediciones, un alto nivel de conocimiento teórico, ha estado involucrado en varios proyectos antropométricos de gran dimensión, y tiene antecedentes de publicaciones antropométricas.

### 2.1 Antropometrista de Nivel 1 (Técnico - Perfil restringido)

Esta persona estará capacitada para llevar a cabo la evaluación del Perfil Antropométrico Restringido. Además de la altura en posición de pie y el peso corporal, el Perfil Restringido consta de los siguientes sitios:

Pliegues Cutáneos	Perímetros	Diámetros óseos
1 tríceps	1 brazo (relajado)	1 húmero
2 subescapular	2 brazo (flexionado y en tensión)	2 fémur
3 bíceps	3 cintura (mínima)	
4 cresta ilíaca	1 glúteos (cadera)	
5 supraespinal	5 pantorrilla (máx na)	
6 abdominal		
7 muslo frontal		
8 pantorrilla (medial)		
9 axilar medial -		

Pre-requisitos (mínimos):

- Inscripción en el Consejo de Acreditación de «Fitness» de Australia (AFAC) o autoridad estatal equivalente, u otro título que pueda ser considerado apropiado por el Coordinador de Procedimientos Standards del Laboratorio ASC, en asociación con Antropometristas de Criterio reconocidos por ISAK, en Australia.

Se otorgará el certificado luego de:

- La finalización satisfactoria de un curso de antropometría (en el Nivel 1) que contiene los componentes teóricos y prácticos en concordancia con los presentados en el esquema del curso (ver Tabla 1).

- La demostración satisfactoria del procedimiento para evaluar la estatura (le pie, la ubicación de las marcas antropométricas, y manipulación del equipo (calibres de pliegues cutáneos, cinta para perímetros, y calibres deslizantes pequeños) frente a un antropometrista de Nivel 3 o Nivel 4. Las marcas antropométricas son acromial, radial, acromial-radial media, xifoidea, ilioespinal, iliocrestílea; sitios marcados para pliegues cutáneos de tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial, y axilar medial.
- Completar satisfactoriamente al menos dos Perfiles Restringidos en presencia de un antropometrista de Nivel 3 (Instructor) o de Nivel 4 (de Criterio), y completar correctamente tests repetidos en 20 sujetos. Los FTM inter e intra-evaluador deben estar dentro de los límites establecidos (ver Tabla 7, más adelante).

		Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Requisitos previos		AFAC o titulo equivalente	Nivel 1 o estudiante universitario	Nivel 2 o mas titulo universitario, 2 años y > 100 perfiles medios
Practica	Tiempo	6 hs. Teoría 10 hs. practica ~20 hs. de tiempo propio (20 perfiles restringidos repetidos)	10 hs. teoría 14 hs. practica ~20 hs. de tiempo propio (2° perfiles completos repetidos)	<b>18 hs. teoría</b> <b>22 hs. practica</b> ~20 hs. tiempo propio (20 perfiles completos repetidos)
	Marcación	Perfil Restringido	Perfil Completo	Perfil Completo
	Manejo del equipo	Calibre para pliegues cutáneos, cinta de medición, calibres deslizantes pequeños, estadiometro	Revisión del Nivel 1 mas segmometro, calibres grandes, y calibres de ramas curvas	Igual que el nivel 2
	Mediciones	Perfil restringido, mediciones repetidas en correcto orden.	Perfil completo, mediciones repetidas en correcto orden	Igual que el Nivel 2.
	ETM	Usar datos para calcular el % ETM intra e inter evaluador	Usar datos para calcular ETM, CCI, y ETM para > 2 evaluaciones	Igual que el Nivel 2
	Aplicación dentro del curso	Mediciones repetidas en un mínimo de 10 sujetos (Perfil Restringido)	Mediciones repetidas en un mínimo de 10 sujetos (Perfil Completo)	Simulación de un estudio de gran escala. Enseñar las destrezas. Mediciones repetidas en un mínimo de 10 sujetos.
	Examen	Examen practico. % ETM dentro de los limites establecidos (ver Tabla 7).	Examen practico. % ETM dentro de los limites establecidos (ver Tabla 7).	Examen teórico-practico. % ETM dentro de los limites establecidos
Teoría	Anatomía	Perfil Restringido	Perfil Completo	Perfil Completo
	Composición corporal	Predicción de la adiposidad corporal total a partir de los pliegues cutáneos. Presunciones y errores	Como el Nivel 1, más evaluación cuantitativa de los errores.	Igual que el nivel 2
	Salud	Peso, BMI, Cci/Ca, distribución de la grasa.	Como en el nivel 1, mas cambios en la dieta y en el ejercicio.	Como en el Nivel 2, mas mecanismos fisiológicos/genética.
	Ajustes o magnitudes	Noción general. Similitud geométrica.	Nivel 1 mas fraccionamiento y humanos de referencia (ej., Phantom).	Nivel 2, mas otros sistemas de similitud, haciendo escala de variables funcionales, crecimiento.
	Somatotipo	Noción general. La somatocarta.	Como el Nivel 1, mas cálculos usando la plantilla de calificación, las ecuaciones y computadora. Distribuciones de frecuencia de somatotipos.	Como en el Nivel 2, mas método fotoscopico, historia, cambios en el somatotipo con el crecimiento, edad, ejercicio y dieta.
	Calibración	Calibración Vernier de la separación entre platillos del calibre de pliegues cutáneos. Calibración con bloques de goma espuma de la presión de los platillos. Mantenimiento del calibre.	Como el Nivel 1 mas uso de varillas y espaciadores. Efecto de los errores de calibración sobre el % GC estimado.	Como el Nivel 2, más calibración estática vs. Dinámica, en escala ascendente y descendente.

	Laboratorios de computación	Uso del software antropométrico específico (ej. LifeSize).	Como en el Nivel 1.	Como en el Nivel 1.
	ETM	% ETM intra vs. Inter-ventricular (2 evaluaciones solamente). Uso del ETM para interpretar los cambios reales, determinar los intervalos de confianza, y reducir el error.	Como en el Nivel 1, mas 3 evaluaciones por sujeto y CCI.	Como en el Nivel 2, más establecimiento de ETM para grandes estudios.
	Antropometría y rendimiento deportivo.	Noción de optimización morfológica. Grasa corporal, estatura, peso, y rendimiento.	Como en el Nivel 1, más proporcionalidad. Evolución del tamaño corporal en deportistas.	Como en el Nivel 2 más aspectos fisiológicos y biomecánicos de la antropometría.
Otras áreas teóricas (opcional)	Imagen corporal		Introducción a la imagen corporal.	Como en el nivel 2, más investigaciones recientes en imagen corporal.
	Ergonomía.		Diseño del lugar de trabajo, aplicación de la antropometría en ergonomía .	Como en el nivel 2, más protecciones corporales.
	Modelos multi-componentes			Modelos que utilizan > 2 componentes. Métodos recientes con alta tecnología.

**TABLA I.** Estructura curricular para el esquema de acreditación Australiano

Pliegues Cutáneos	Perímetros	Longitudes
1 tríceps	1 cabeza	1 acromial-radial
2 suhescapular	2 cuello	2 radial-estiloidea
3 bíceps	3 brazo (relajado)	3 med. estil.-dactiloidea
4 cresta iliaca	4 brazo (flexionado y en tensión)	4 ilioespinal-alt. cajón
5 supraespinal	5 antebrazo (máximo)	5 trocantérea-alt. cajón
6 abdominal	6 muñeca (estiloides distal)	6 troc.-tíhial-lateral
7 muslo frontal	7 tórax (mesoesternal)	7 tibial-lateral
8 pantorrilla medial	8 cintura (mínima)	8 tib.med.-maleolar
9 axilar medial	9 glúteos (cadera)	medial
	10 muslo (1 cm debajo del (lúteo)	
	11 muslo (med. trocantéreo-tíhial lateral)	
	12 pantorrilla (máxima)	<b>Diámetros/Longitudes</b>
	13 tobillo (mínimo)	1 bícrnial
		2 biileocrestídeo
		3 longitud de pie
		4 talla sentado
		5 tórax transverso
		6 tórax A-P
		7 húmero
		8 fémur

## 2.2 Antropometrista de Nivel 2 (Técnico - Perfil Completo)

Esta persona estará capacitada para llevar a cabo la evaluación del Perfil Antropométrico Completo. Además de la altura de pie y el peso corporal, el perfil completo consta de los siguientes sitios (9 pliegues cutáneos, 13 perímetros, 16 diámetros óseos/longitudes segmentarias):

*Pre-requisitos (mínimos):*

- Finalización satisfactoria del curso de Nivel 1, o haber completado un estudio universitario que pueda ser considerado apropiado por el coordinador (le Procedimientos Standards de Laboratorio ASC, en asociación con Antropometristas de Criterio reconocidos por ISAK, en Australia.

*Se otorgará el certificado luego de:*

- La finalización satisfactoria (le un curso de antropometría (en el Nivel 2) que contiene los componentes teóricos y prácticos en concordancia con los sugeridos en el esquema del curso (ver Tabla 1).
- La demostración satisfactoria del procedimiento para evaluar la estatura de pie, la ubicación de las marcas antropométricas, y manipulación del equipo (calibres de pliegues cutáneos, cinta para perímetros, calibres deslizantes pequeños, segmómetro, calibre deslizante grande, y calibre de ramas curvas) frente a un antropometrista (le Nivel 3 o Nivel 4. Las marcas antropométricas son acromial, radial, acromial-radial media, estiloidea, estiloidea media, mesoesternal, xifoidea, ilioespinal, trocánterea, iliocrestídea, tibial lateral, tibial medial, maleolar; sitios vareados para pliegues cutáneos de tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial, y axilar medial.
- Completar satisfactoriamente al menos dos Perfiles Completos en presencia de un antropometrista de Nivel 3 (Instructor) o de Nivel 4 (de Criterio), y completar correctamente tests repetidos en 20 sujetos. Los ETM inter e intra-evaluador deben estar dentro de los límites establecidos (ver Tabla 7, más adelante).

## 2.3 Antropometrista de Nivel 3 (Instructor)

Esta persona estará capacitada para llevar a cabo la evaluación del Perfil Antropométrico Completo (altura parado, peso corporal, 9 pliegues cutáneos, 13 perímetros, 16 diámetros óseos/longitudes segmentarias). El candidato para el Nivel 3 tendrá

además, la certificación para enseñar en los cursos de Nivel 1 y 2 utilizando los lineamientos y materiales proporcionados por el Coordinador de procedimientos Standards de Laboratorio del ASC.

*Pre-requisitos (mínimo)::*

- Título universitario en un área relevante (movimiento humano, anatomía, educación física, nutrición, fisioterapia),
- Finalización del curso de Nivel 2 o curso equivalente, y
- Experiencia significativa (>2 años) en antropometría (al menos 100 Perfiles Completos) u otro título que pueda ser considerado apropiado por el Coordinador de Standards de Laboratorio del ASC en asociación con Antropometristas de Criterio reconocidos por ISAK en Australia.

*Se otorgará el certificado luego de:*

- La finalización satisfactoria de un curso de antropometría (en el Nivel 3) que contiene los componentes teóricos y prácticos en concordancia con los sugeridos en el esquema del curso (ver Tabla 1).
- La finalización satisfactoria de exámenes tanto teóricos como prácticos que incluyen: La demostración satisfactoria del procedimiento para evaluar la estatura parado, la ubicación de las marcas antropométricas, y manipulación del equipo (calibres de pliegues cutáneos, cinta para perímetros, calibres deslizantes pequeños, segmómetro, calibre deslizante grande, y calibre de ramas curvas) frente a un antropometrista de Nivel 3 o Nivel 4. Las marcas antropométricas son acromial, radial, acromial-radial media, estiloidea, estiloidea media, mesoesternal, xifoidea, ilioespinal, trocánterea, iliocrestídea, tibial lateral, tibial medial, maleolar; sitios marcados para pliegues cutáneos de tríceps, subescapular, bíceps, cresta ilíaca, supraespinal, abdominal, muslo frontal, pantorrilla medial, y axilar medial.
- Completar satisfactoriamente al menos dos Perfiles Completos en presencia (le un antropometrista de Nivel 4 (de Criterio), y completar correctamente tests repetidos en 20 sujetos. Los ETM inter e intra-evaluador deben estar dentro de los límites establecidos (ver Tabla 7 más adelante).

## 2.4 Antropometrista de Nivel 4 (Antropometrista de Criterio)

Un antropometrista de criterio tiene muchos años de experiencia realizando evaluaciones, un alto nivel de

conocimiento teórico, ha estado involucrado en varios proyectos antropométricos de gran escala, y tiene unos antecedentes importantes de publicaciones en antropometría.

El Nivel 4 sólo puede obtenerse haciendo una presentación directamente a ISAK, a la siguiente dirección: Dr. Alan Martin, President, International Society for the Advancement of Kinanthropometry, School of Physical Education, University of British Columbia, 6081 University Blvd, Vancouver, BC., Canadá V6t 1Z1. Email: Alan\_Martin@mtsg.ubc.ca

### 3. OBJETIVO O META DEL ETM («TEMs target»): REQUERIMIENTOS Y RAZONES

Los ETM representan la dimensión de control de calidad del esquema de acreditación. En cada nivel, los antropometristas necesitan demostrar que los ETM intra-evaluador e inter-evaluador este dentro de los límites prescritos. Los ETM inter-evaluador son determinados por la comparación entre las evaluaciones llevadas a cabo por el estudiante (o aspirante) y las realizadas por un antropometrista de Nivel 3 o 4 (para los Niveles 1 y 2) o de Nivel 4 (para el Nivel 3), en un número de sujetos. El estudiante y el antropometrista de Criterio/Instructor deben utilizar el mismo equipo y medir al sujeto en el mismo día. Los ETM intra-evaluador son determinados por mediciones repetidas, llevadas a cabo por el estudiante (o aspirante) con distintos individuos.

Se han realizado distintos estudios con el fin de cuantificar el error técnico inter e intra-evaluador involucrado en las mediciones antropométricas (por ej., Johnston, Hamill & Lemeshow, 1972; Keys & Brozek, 1953; Lohman, 1981; Sloan & Shapiro, 1972; Wilmore & Behnke, 1969); Womersley & Durnin, 1973). Si bien se reconocen las implicancias que los evaluadores puedan tener grandes errores técnicos, muchos autores son incapaces de brindar recomendaciones para la meta de ETM («target») y, cuando lo hacen, a menudo carecen de una razón clara respaldada por la evidencia empírica. Ross y Marfell-Jones (1991) sugieren un límite de tolerancia para los perímetros. En 1984, la Asociación Canadiense de ciencias del Deporte desarrollo, junto con Sport Canadá, un sistema de acreditación para laboratorios asociados con la evaluación fisiológica de deportistas de elite (Quinney, Petersen, Gledhill & Jamnik, 1984). Este esquema recomendaba las siguientes tolerancias:

- altura sentado y peso: 0.5 %
- diámetro biacromial: 1.0 %

- diámetro biepicondilar de fémur: 3.5 %
- sumatoria de ocho pliegues cutáneos: 10 %

Esta claro que los límites de error técnico deberían establecerse de manera de maximizar la precisión y la confiabilidad. En teoría, cuanto menor es el ETM, mejor. Sin embargo, existen restricciones con respecto al tamaño de las metas de ETM o «target»:

- Los TM deberían idealmente estar en proporción con la magnitud de las diferencias fisiológicas que intentan medir.
- Deberíamos saber como el tamaño de los ETM afectara las variables derivadas de los datos antropométricos brutos (tales como el somatotipo, las masas fraccionales, y el porcentaje estimado de grasa corporal).
- Los ETM deben ser alcanzables por la mayoría de los evaluadores, de acuerdo a su nivel de destreza y experiencia.

#### 3.1 Cuan pequeños deben ser los ETM para detectar cambios reales?

Idealmente, los ETM deberían ser suficientemente pequeños como para ser sensibles a los cambios que tendrían que detectar. Frecuentemente, los cambios en las variables antropométricas luego del ejercicio, y/o de las intervenciones alimentarias, son bastante pequeños. Utilizando variables pesadas de tendencia central, hemos revisado 55 estudios que han usado los ejercicios aeróbico como intervención, donde los pliegues cutáneos y otras variables antropométricas fueron evaluados antes, durante y después de los programas de entrenamiento. Estos programas fueron bastante típicos de aquellos llevados a cabo por deportistas recreacionales jóvenes (ver Tablas 2 y 3).

	Hombres	Mujeres
n	1.503	335
Edad	38.9	28.2
Peso (kg)	78.7	65.0
% grasa corporal	18.4	29.2
Semanas	20.9	12.2
Minutos/sesión	34.1	35.4
Sesiones/semana	2.4	5.4
Mediana  ▲ $\Sigma$ PC (%)	10.9	5.7
% ETM necesario para un intervalo de conf. 68 %	7.7	4.0
% ETM necesario para un intervalo de conf. 95 %	3.9	2.0

**TABLA 2.** Valores medios de las características de los sujetos que participaron en programas de entrenamiento aeróbico, en los cuales se evaluaron los cambios en los pliegues cutáneos, las características de los programas, la mediana de los cambios en el porcentaje absoluto de la sumatoria de pliegues cutáneos ( $\Sigma$ OPC %), y % ETM intra-evaluador necesario para detectar estos cambios.

	Hombres	Mujeres
n	1.007	288
Edad	24.3	28.3
Peso (kg)	79.7	66.0
% grasa corporal	21.4	30.3
Semanas	19.1	12.3
Minutos/sesión	32.0	30.7
Sesiones/semana	2.2	5.4
Mediana  ▲ $\Sigma$ Pe (%)	1.7	1.5
% ETM necesario para un intervalo de conf. 68 %	1.2	1.1
% ETM necesario para un intervalo de conf. 95 %	0.6	0.5

**TABLA 3.** Valores medios de las características de los sujetos que participaron en programas de entrenamiento aeróbico en los cuales se evaluaron los cambios de perímetros, las características de los programas, la mediana de los cambios en el porcentaje absoluto de la sumatoria de perímetros ( $\Sigma$ Pe%), y % ETM intra-evaluador necesario para detectar estos cambios.

La mediana del cambio absoluto es la sumatoria de pliegues cutáneos ( $\Sigma$ PC) expresada en porcentaje de los valores originales, fue de 10.9 % en los hombres (n = 1.503), y 5.7 % en las mujeres (n = 35). Para detectar estos cambios en cualquier individuo con una confianza del 68 % sería necesario un ETM de 7.7 % en los hombres, y de 4.0 % en las mujeres. Estas cifras sugieren que tales cambios pueden no ser capaces de ser detectados con confianza por algunos antropometristas en una medición individual, a menos que se tomen múltiples mediciones para reducir el error. La mediana del cambio absoluto en la sumatoria de perímetros en estos estudios, expresada como porcentaje de los valores iniciales, fue de 1.7 % en los hombres (n = 1.007) y 1.5 % en las mujeres (n = 288). Para detectar estos cambios en cualquier individuo con una confianza del 68 % sería necesario un ETM intra-ventricular de 1.2 % en los hombres, y 1.1 % en las mujeres. Para una confianza del 95 %, los ETM necesarios serían 0.6 % en los hombres y 0.5 % en las mujeres.

largos de los mismos. En las Tablas 4 y 5 se muestran detalles de los programas de entrenamiento.

Además hemos revisado 25 estudios con programas de entrenamiento de resistencia, en los cuales se llevaron a cabo mediciones antropométricas a lo

	Hombres	Mujeres
n	80	122
Edad	26.9	24.5
Peso (kg)	78.9	59.9
% grasa corporal	16.5	26.5
Semanas	11.0	12.3
Minutos/sesión	38.3	36.9
Sesiones/semana	2.7	2.6
Mediana  ▲ $\Sigma$ PC (%)	9.3	9.3
% ETM necesario para un intervalo de conf. 68 %	6.6	6.6
% ETM necesario para un intervalo de conf. 95 %	3.3	3.3

**TABLA 4.** Valores medios de las características de los sujetos que participaron en programas de entrenamiento de resistencia en los cuales se evaluaron los cambios en los pliegues cutáneos, las características de los programas, la mediana de los cambios en el porcentaje absoluto de la sumatoria de pliegues cutáneos ( $\Sigma$ Pe%), y % ETM intra-evaluador necesario para detectar estos cambios.

	Hombres	Mujeres
n	190	61
Edad	23.7	20.6
Peso (kg)	83.6	60.7
% grasa corporal	14.6	24.5
Semanas	6.5	11.7
Minutos/sesión	37.5	44.5
Sesiones/semana	3.0	2.2
Mediana  ▲ $\Sigma$ Pe (%)	2.0	0.4
% ETM necesario para un intervalo de conf. 68 %	1.4	0.3
% ETM necesario para un intervalo de conf. 95 %	0.7	0.1

**TABLA 5.** Valores medios de las características de los sujetos que participaron en programas de entrenamiento de resistencia en los cuales se evaluaron los cambios en los perímetros, las características de los programas, la mediana de los cambios en el porcentaje absoluto de la sumatoria de perímetros ( $\Sigma$ Pe%), y % ETM intra-evaluador necesario para detectar estos cambios.

La mediana del cambio absoluto en la sumatoria de pliegues cutáneos ( $\Sigma$ PC) expresada en porcentaje de los valores originales fue de 9.3 %, tanto en los hombres (n = 80) como en las mujeres (n = 122). Para detectar estos cambios en cualquier individuo, con una confianza del 68 %, sería necesario un ETM intra-evaluador de 6.6 %. Para una confianza del 95 %, se necesitaría un ETM de 3.3 %. En estos estudios, la mediana del cambio absoluto en la sumatoria de perímetros, expresada como porcentaje de los valores iniciales, fue de 2.0 % en los hombres (n = 190) y 0.4 % en las mujeres (n = 61). Para detectar estos cambios en cualquier individuo, con una confianza del 68 %, sería necesario un ETM intra-evaluador de 1.4 % en los hombres y 0.3 % en las mujeres. Para una confianza del 95 %, los ETM necesarios deberían ser 0.7 % en los hombres y 0.1 % en las mujeres.

En los deportistas de elite, las variables antropométricas con frecuencia siguen un patrón cíclico basado en las distintas etapas de la temporada de entrenamiento. Existen muy pocos datos sobre la

variabilidad, dentro de la temporada, en las variables antropométricas superficiales de los deportistas. La tabla 6 muestra los datos de la sumatoria de seis pliegues cutáneos para un ciclista olímpico que ganó medalla de oro, y que fue evaluado 12 veces en un periodo de siete meses (N. Craig, comunicación personal). La variabilidad general en el grosor de los pliegues cutáneos es bastante grande (CV = 20.7 %). La Tabla 6 muestra los ETM que serían necesarios para detectar, con una confianza del 95 %, el cambio desde los valores basales (16 de noviembre, 1987) hasta cada una de las fechas posteriores de evaluación (3er. Columna), y desde cada evaluación hasta la siguiente (4ta. Columna). Las mediciones de pliegues cutáneos tuvieron lugar cada 2 semanas aproximadamente, y para este individuo se necesitaría un nivel muy alto de destreza para estar un 95 % seguro de un cambio real. Las alternativas disponibles para un antropometrista con un menor nivel de destreza son utilizar mediciones múltiples, o espaciar más las evaluaciones.

Fecha	$\Sigma$ PC	ETM necesario	
		(a) basal	(b) previo
16 nov 87	54.8		
25 nov 87	48.5	4.3	4.3
2 dic 87	45.8	6.4	2.1
9 dic 87	44.0	7.9	1.4
13 ene 88	38.7	12.3	4.5
27 ene 88	32.9	17.5	5.7
2 feb 88	34.7	16.6	1.9
17 feb 88	32.7	18.8	2.1
2 mar 88	30.6	21.2	2.3
16 mar 88	30.3	22.1	0.4
18 may 88	34.7	18.2	4.8
2 jun 88	33.7	19.4	1.1

**TABLA 6.** Sumatoria de 6 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, bíceps, cresta iliaca, muslo frontal, pantorrilla medial) en un ciclista olímpico ganador de medalla de oro, durante el periodo de 6 meses, y los 5 ETM intra-evaluador necesarios para estar 95 % seguros de un cambio real: (a) desde la evaluación basal el 16 de noviembre de 1987; y (b) desde la evaluación previa.

### 3.2 Implicancias de la magnitud del ETM para las variables derivadas

Los datos antropométricos brutos (o crudos), a menudo son utilizados para estimar variables derivadas, tales como la densidad corporal, el porcentaje graso, los somatotipos, y las masas fraccionales. En algunas de estas variables derivadas solo hay una variable de entrada para la cual se ha determinado el ETM. Por ejemplo, la densidad corporal se calcula utilizando la ecuación de Durnin y Womersley (1974) que usa la sumatoria de pliegues cutáneos como única variable de entrada. En situaciones tales como esta, es fácil calcular el efecto de la magnitud del ETM sobre la variable derivada (en este caso, la densidad corporal y, por lo tanto, el porcentaje graso). Por ejemplo, utilizando los datos promedio de pliegues cutáneos del estudio de DASET (1992), una mujer australiana de 20-29 años tiene una sumatoria de 4 pliegues de 61.4 mm. Esto equivale a un porcentaje estimado de grasa corporal de 31.1 % usando la ecuación de Durnin y Womersley (1974). Los límites de confianza de 95 % para este porcentaje graso estimado, para un evaluador con un ETM de 10 %, el intervalo de confianza sería entre 26.5 % y 34.9 % - límites que quizás son más estrechos de los que podrían esperarse.

Cuando las variables derivadas utilizan variables de entrada para las cuales los ETM deben determinarse en forma separada (por ejemplo, el cálculo del índice del índice de mesomorfismo requiere tanto perímetros como pliegues cutáneos), es mucho más problemático modelar el efecto de las magnitudes de los ETM sobre

la magnitud de la variable derivada. Esto se debe a que las magnitudes de los ETM y los signos de las diferencias en la medición, probablemente, no son independientes. Los evaluadores pueden equivocarse consistentemente en una dirección, o cuando un evaluador muestra un gran error de medición en un área, también podría mostrar sistemáticamente un gran error en otra área.

### 3.3 Objetivo o meta del ETM propuesto (ETM «target»)

Estas consideraciones y la experiencia a partir de numerosos cursos de entrenamiento nos permite expresar algunas sugerencias tentativas con respecto a las metas de ETM «target» para distintos niveles. Los límites propuestos se muestran en la Tabla 7. Si bien es claro que los antropometristas con ETM de esta magnitud no podrían, en muchos casos, detectar con confiabilidad cambios en un individuo luego de programas recreacionales típicos, o en atletas competitivos en los cuales se realizan evaluaciones repetidas en intervalos cortos de tiempo, probablemente es irreal establecer normas más estrictas de ETM. En estos casos, se deberían emplear estrategias alternativas de mediciones múltiples y/o periodos más largos entre evaluaciones. Se deberían permitir algo de flexibilidad en la aplicación de los ETM «target» para los sitios que no son pliegues cutáneos, particularmente para los diámetros óseos, y para sitios que están afectados por movimientos respiratorios (ver Ross, Kerr, Carter, Ackland, & Bach, 1994, Tabla B.1).

		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
		a	b	a	b	a	b
		Post- curso	Post- perfiles	Post- curso	Post- perfiles	Post- curso	Post- perfiles
Inter-evaluador	Pliegues cutáneos	12.5	10.0	10.0	7.5	10.0	7.5
	Otros	2.5	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5
Intra-evaluador	Pliegues Cutáneos	10.0	7.5	7.5	5.0	7.5	5.0
	Otros	2.0	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0

**TABLA 7.** ETM «target» propuestos, para comparaciones inter-evaluador e intra-evaluador, para los tres niveles de acreditación: (a) luego del curso de entrenamiento; (b) luego de la finalización de 20 perfiles repetidos. Observar que para los Niveles 2 y 3, los ETM «target» son iguales.

#### 4. LINEAMIENTOS Y GUIAS PARA DETERMINAR LOS ETM

Los ETM variaran de acuerdo a la naturaleza de los sitios medidos, a la población evaluada, y al equipo y condiciones de evaluación. Por lo tanto, es importante, estandarizar la determinación de los ETM.

##### 4.1 La especificidad de la población medida

Los ETM normalmente son expresados como porcentajes de los valores medios debido a que uno podría esperar errores absolutos mayores en sujetos más grandes. Sin embargo, esto puede no crear enteramente un «campo de juego nivelado» entre sujetos de distintos grosores de pliegues, quizás porque los sujetos más obesos tienen los problemas adicionales de la ubicación de los sitios, una compresibilidad variable, etc. Por lo tanto, cuando se determinan los ETM, los evaluadores deberían utilizar sujetos con grosores de pliegues cutáneos similares a los que ellos van a evaluar.

Es probable que los ETM varíen con sujetos de otras características (distinto sexo, por ejemplo). Por ello, la regla general es que los ETM deberían estar determinados en sujetos lo más parecidos posible a la población «target». Para aquellos involucrados en la evaluación de deportistas, este hecho probablemente supondrá que se establezcan ETM específicos para el deporte. Aquellos evaluadores comprometidos en la medición de un amplio rango de sujetos (como en los centros de «fitness»), deberían determinar sus ETM en poblaciones ampliamente variables.

##### 4.2 Aspectos relacionados con el procedimiento

Distintos aspectos del procedimiento para determinar los ETM puede afectar la magnitud del ETM. Entre estos se encuentran el tiempo entre mediciones repetidas, y si las marcas anatómicas son borradas o relocalizadas entre evaluaciones. A menudo, los ETM intra-evaluador son calculados sin remarcar al sujeto (durante una situación de examen). Esto debería hacerse para reducir el ETM, de modo que los valores reportados aquí podrían representar ETM más bajos de los que se encontrarían en situaciones en las cuales las mediciones fueron realizadas con un día de separación.

Cuando las evaluaciones son realizadas en ocasiones diferentes en la misma persona, entra en juego algún grado de variación biológica. Se registrarán menores pliegues cutáneos si uno está bien hidratado un día, y lo contrario si está deshidratado otro día. Esto se debe a que la deshidratación aumenta la tensión en la piel, volviéndola más tirante, y produciendo que los platinillos del calibre tiendan a separarse (Consolazio, Johnson, 7 Pécora, 1963, p. 303). La estatura normalmente es 1-2 cm menor por la tarde que en la mañana, ya que los discos intervertebrales se van comprimiendo durante el transcurso del día. Los baños saunas, las duchas, el ejercicio con sobrecarga, y la fase menstrual, también pueden afectar las mediciones antropométricas. Por lo tanto, es importante cuando se establecen los ETM, reproducir las condiciones ambientales de modo de minimizar las fuentes de variabilidad biológica.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Consolazio, C.F., Johnson, R.E., & Pécora, L.J. (1963)  
**Physiological measurements of metabolic function in man.**  
 London: McGraw-Hill.
- Department of the Arts, Sport, the Environment and territories (1992).  
**Pilot survey of the fitness of Australians.**  
 Canberra: Australian Government Publishing Service.
- Durnin, J.V.G.A., & Womersley, J. (1974)  
 Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: Measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years.  
 British Journal of nutrition, 32, 77-97.
- Johnston, F.E., Hamill, P.V.V., & Lemeshow, J. (1972)  
**Skinfold thickness of children 6-11 years.**  
 (United States National Health Survey, Series 11, Number 120, I-60). Washington, DC: U.S. Department of Health, Education and Welfare.
- Keys, A., & Brozek, J. (1953)  
 Body fat in adult man.  
**Physiological Reviews, 33**, 245-325.
- Lohman, T.G. (1981)  
 Skinfolds and body density and their relation to body fatness: a review.  
**Human Biology, 53**, 181-225.
- Quinney, H.A, Petersen, S.R., Gledhill, N., & Jamnik, V. (1984)  
 Accreditation of elite athlete testing laboratories in Canada.  
 In: T. Reilly, J. Watkins, & J. Borms (Eds.), **Kinanthropometry III** (pp. 233-238). London: E & F.N. Spon.
- Ross, W.D., Kerr., Carter, J.E.L., Ackland, T.R., & Bach, T.M. (1994)  
 Appendix B: Anthropometric techniques: precision and accuracy.  
 In J.E.L. Carter & T.R. Ackland (Eds), **Kinanthropometry in aquatic sports** (pp. 158-169).  
 Champaign, Illinois: Human Kinetics).
- Ross, W.D., & Marfell-Jones, M.T. (1991)  
 Kinanthropometry  
 In: J.D. Macdougall, H.A. Wenger, & H.J. Green (Eds.), **Physiological testing of the high Performance athlete** (2<sup>nd</sup> ed., pp. 223-308).  
 Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Sloan, A.W., & Shapiro, H. (1972)  
 A comparison of skinfold measurements with three standard calipers.  
**Human biology, 44**, 29-36.
- Wilmore, J.H., & Behnke, A.R. (1969).  
 An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men.  
**Journal of Applied Physiology, 27**, 25-31.
- Womersley, J., & durnin, J.V.G.A. (1973).  
 An experimental study on variability of measurement of skinfold thickness on young adults.  
**Human Biology, 45**, 281-292.