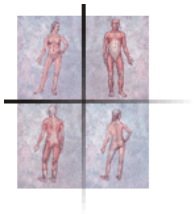
CAPÍTULO 5



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 a1guna 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

$$VS = O.32\ peso + 79.5$$

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).

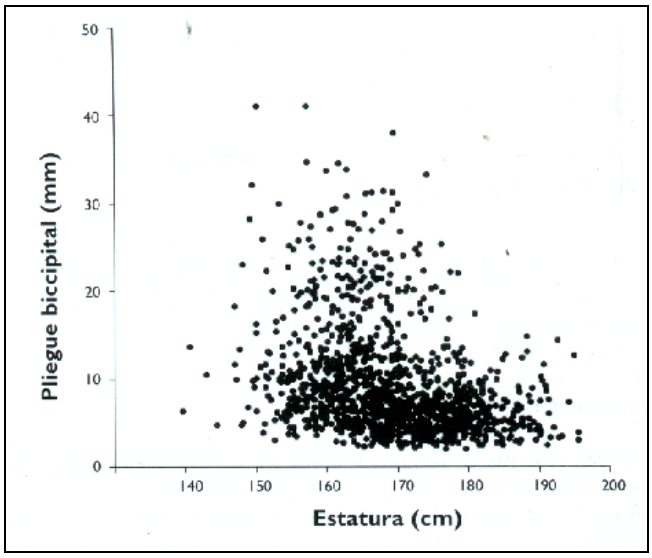


FIGURA 1. *Gráfico de dispersión del grosor del pliegue cutáneo del bíceps (mm), en función de la estatura corporal (cm), en un grupo de sujetos que participaron del estudio con adultos australianos, llevado a cabo por el Departamento de Arte, Deporte, Medio Ambiente, y Territorios (1992). Observar que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

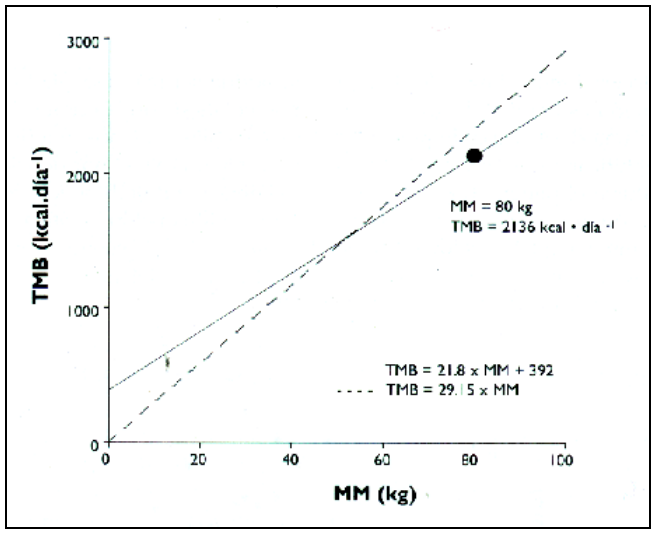


FIGURA 2. *Un individuo con una masa magra (MM) de 80 kg tiene una tasa metabólica basal (TMB) de 2.136 kcal.día-1. Mientras que este valor cae directamente en la línea de regresión (línea sólida) con la ecuación TMB = 21.8 x MM + 392, cae muy por debajo de la línea de proporción con la ecuación TMB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

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.

2.3La 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:

$$y = bx^a$$

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 e1 animal. Los GR varían en tamaño entre 4 y 9.4 um 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).

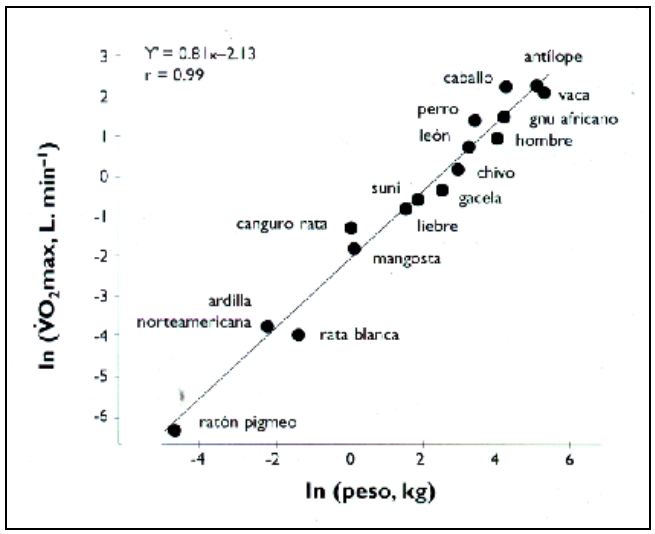


FIGURA 3. *Regresión de ln (VO 2 max, l. min -1) sobre el ln (peso corporal, kg), en distintos mamíferos (de Weibel, 1984, p.39). La pendiente de la línea de regresión (0.81) es el exponente estimado (a) de la ecuación alométrica general.*

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.

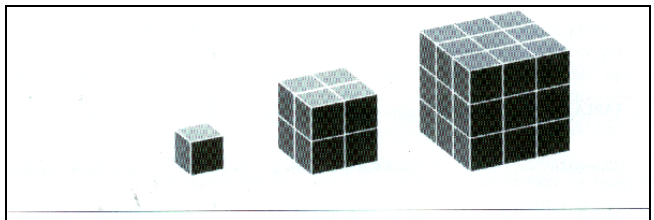
3. TIPOS DE SISTEMAS DE SIMILITUD

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 numero de características corporales, los seres humanos de diferentes tamaños son como cubos le 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-volúmenes aumentan con el cubo de la altura.



Largo	1	2	3	L
Superficie	6	24	54	L^2
Volumen	1	8	27	L^3

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 estructura1 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 geometrica	Similitud elástica
Alturas	Masa $^{0.33}$ o altura^{1}	Masa $^{0.25}$ o altura^{1}
Diámetros	Masa $^{0.33}$ o altura^{1}	Masa $^{0.38}$ o altura$^{1.5}$
Perímetros	Masa $^{0.33}$ o altura^{1}	Masa $^{0.38}$ o altura$^{1.5}$
Áreas Transversales	Masa $^{0.67}$ o altura^{2}	Masa $^{0.75}$ o altura^{3}
Superficies	Masa $^{0.67}$ o altura^{2}	Masa $^{0.63}$ o altura$^{2.5}$
Volúmenes	Masa ^{1} o altura^{3}	Masa ^{1} o altura^{4}

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 triccipital de 15 mm. Otro mide 160 cm y tiene un pliegue triccipital 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 re-equilibrar 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 (Σ6PC) 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 "estaninas" (una estanina 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 estaninas.

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 biccipital y triccipital (distinto a la Escala-O, que se hace sólo por el triccipital). 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 período, 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.

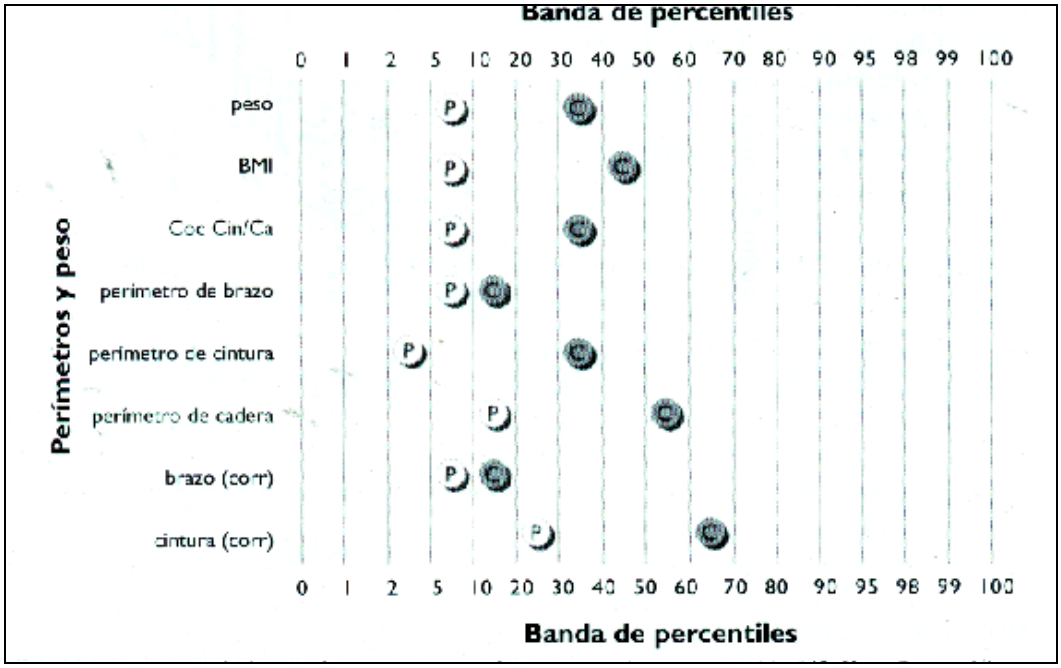


FIGURA 5. *Copia impresa de la Escala – Oz a partir del programa de computación* ***LifeSize.*** *Esta gráfica muestra lasbandas de percentiles específicas, por edad y por sexo, de una mujer evaluada en 1981 como deportista recreacional (círculos blancos, denominados "P"), y nuevamente evaluada en 1994, 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 min^{-1} menos el valor estimado del VO_2 en reposo, dividido por la velocidad de carrera en $m.min^{-1}$) 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).

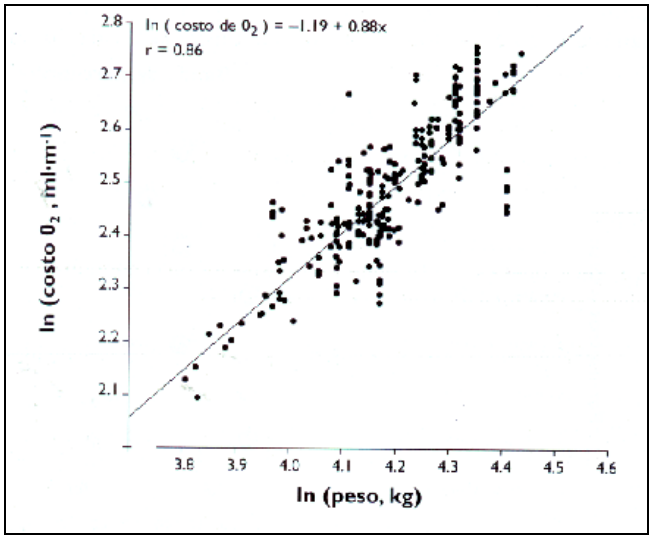


FIGURA 6. *Regresión del logaritmo natural del VO_2 por unidad de velocidad ($ml.min^{-1}$) en relación al logaritmo natural del peso corporal (kg). El VO_2 por unidad de velocidad se calcula como el VO_2 medido ($ml.min^{-1}$) menos la tasa metabólica basal estimada (3.5 $ml.kg^{-1}$ de peso corporal.min^{-1},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

Esto confirma las recientes observaciones de Bergh, Sjodin, Forsherg, 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 ($ml.kg^{-1}$ .min^{-1}) es menor para los corredores más pesados que para los más livianos.
Un problema similar surge cuando consideramos los valores del VO_{2max}. Si expresamos el $VO_{2\ max}$ en $l.min^{-1}$, 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 $VO_{2\ max}$ en $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, 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 $VO_{2\ max}$ ($l.min^{-1}$) 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 levantados.$kg^{-0.67}$ de peso corporal, y $l.min\text{-}^{1}.kg^{-0.67}$, 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 pava su tamaño si no puede levantar un bolso del carrito del supermercado, o que un remero tiene un elevado $VO_{2\ max}$ 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 nuestra la relación entre distintos aspectos del rendimiento y la altura estimada por similitud geométrica.

Aspecto de la performance	**Proporcional a ...**
Carrera	$Altura^0$ o $peso^0$
Salto	$Altura^0$ o $peso^0$
Fuerza	$Altura^2$ o $peso^{0.67}$
Trabajo	$Altura^3$ o $peso^1$
Potencia (absoluta)	$Altura^2$ o $peso^{0.67}$
Potencia (relativa)	$Altura^{0.67}$ o $peso^{0.22}$

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.

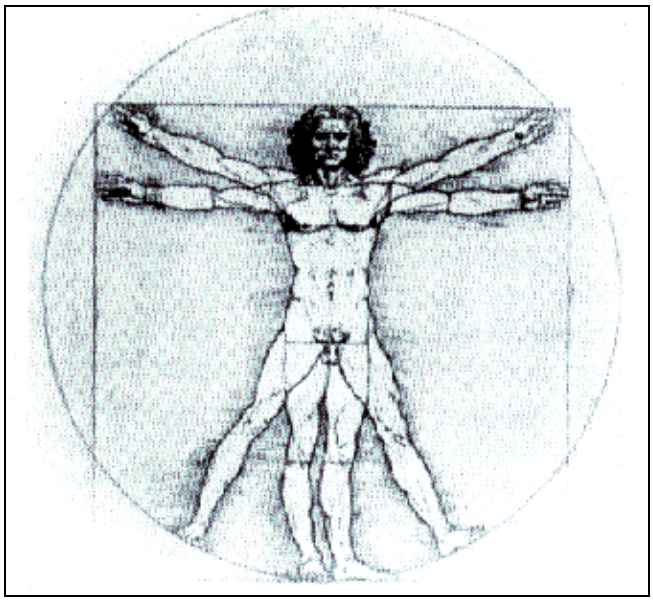


FIGURA 7. *Hombre Vitruvio de Leonardo da Vinci.*

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.

4.3.1.1Valores 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}:

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

* 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 Phantont

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 anormalidades 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 corno 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 Phantorn:

$$\mathbf{M_{adj} = \quad x\ s + p}$$

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. (Elestudiante 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
Media						**-2.41**
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
Media						**-0.17**
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
Media						**+0.91**
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
Media						**+2.20**

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 l8O.1 cm.*

s = desvío standard; valor correg. = valor bruto ajustado a la altura (es decir, multiplicado por 170.1 8/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 π. Perímetro corregido de brazo relajado = perímetro de brazo relajado - π x pliegue triccipital; perímetro de tórax corregido = perímetro de tórax – π x pliegue subescapular; perímetro de muslo corregido = perímetro de muslo - π x pliegue muslo frontal; perímetro corregido de pantorrilla = perímetro de pantorrilla - π 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 x 3.25 + 12.13 = 4.3 kg.

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

Masa residual
Media Phantom = 16.41 kg; s Phantom = 1.90kg

M_{adj} = x s + p = -0.17 x 1.90 + 16.41 = 16.1 kg

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

Masa ósea
Media Phantom = 10.49 kg; s Phantom = *1.57* kg

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

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

Masa muscular
Media Phantom = *25.55* kg; s Phantom = 2.99 kg

M_{adj} = x s + p = 2.20 x 2.99 + 25.55 = 32.1 kg

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

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 ínter 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 BIBILOGRAFICAS

Ástrand,P-O., & Rodahl, K. (1977).
Textbook of work physiology.
New York: McGraw-Hill.

Bergh, U., Sjódin, B., Forsberg,A., & Svedenhag,J. (1991).
The relationship between body rnass and oxygen uptake during running in humans.
Medicine and Science in Sports and Exercise, 23, 205-21 1.

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.

Departrnent of the Arts, Sport, the Environment and Territories (1992).
Pilot survey of the fitness of Australíans.
Canberra: Australian Government Publishing Service.

Drinkwater, D., & Ross,WD. (1980).
Anthropometric fractionation of body mass.
In W Ostyn, G. Beunen & J. Simons (Eds.), **Kinanthropometry II** (pp. 177-188).
Baltirnore: University Park Press.

Ford, L.E. (1984).
Sorne consequences of body size.
American Journal of Physiology, 247, H495-H507.

Garrett, J.W., & Kennedy, KW. (1971).
A collation of anthropometry,Vol. 1-2.
Springield,Va: National Technical Inforrnation 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.l. (1994).
LifeSize [Computer software].
Sydney: Nolds Sports Scientific.

Ross,W.D., Grand,T.l., 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).
Charnpaign, 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 stratagern for proportional growth assessrnent.
Acta Pediatrica 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 allornetry.
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(l), 1 - 15.

Taylor, C.R. (1987).
Structural and functional limits to oxidative rnetabolism: insights frorn scaling.
Annual Review of Physiology, 49, ¡35-146.

Teissier, G. (1931).
Recherches rnorphologiques 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.

Whittingharn, N.O.,Ward, R., & Ross,W.D. (1992).
A cornputer based physique assessrnent system.
The Australian Journal of Science and Medicine in Sport, 24, 39-43.

Wilrnore,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.l., & Whittingham, N.O. (1991).
The Drinkwater-Ross anthropometric fractionation of body mass: comparison with measured body mass and densitometrically estimated fat and fat-free rnasses.
Journal of Sports Sciences, 9, 299-311