

b. 16459489
0. 10485821
i. 21421213

G/240

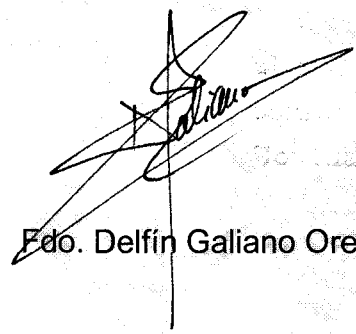


T.D
G/240

Departamento de Anatomía y Embriología Humana

“CUATIFICACIÓN ALOMÉTRICA DEL CONSUMO DE OXÍGENO EN DEPORTISTAS: SU RELACIÓN CON LA COMPOSICIÓN Y LAS DIMENSIONES CORPORALES”.

Trabajo presentado por el Licenciado **D. Delfín Galiano Orea** para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Sevilla.


Fdo. Delfín Galiano Orea

068 266

25-05-04



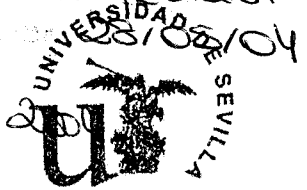


Fdo. Juan Jiménez-Castellanos Ballesteros
Director del Departamento de Anatomía y Embriología Humana
Universidad de Sevilla

Dpto. ANATOMÍA Y EMBRIOL.
UNIV. DE SEVILLA. FAC. MEDICINA

17/06/04

17 JUNIO 2004





Departamento de Anatomía y Embriología Humana



Departamento de Anatomía y Embriología Humana

ANTONIO TEJEDO MATEU, Catedrático de Anatomía y Embriología Humana del Departamento de Ciencias Morfológicas de la Universidad de Barcelona, y JUAN JIMÉNEZ-CASTELLANOS BALLESTEROS, Catedrático de Anatomía y Embriología Humana del Departamento de Anatomía y Embriología Humana de la Universidad de Sevilla,

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado "Cuatificación alométrica del consumo de oxígeno en deportistas: su relación con las composición y las dimensiones corporales", ha sido realizado por el Ldo. D. DELFÍN GALIANO OREA bajo nuestra dirección.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, se firma la presente en Sevilla, a 26 de febrero de dos mil cuatro

Fdo. Juan Jiménez-Castellanos Ballesteros

Fdo. Antonio Tejedo Mateu

En cierta ocasión le decía Pu Shang a Confucio: «¿Qué clase de sabio eres tú, que te atreves a decir que Yen Hui te supera en honradez; que Tuan Mu Tsu es superior a ti a la hora de explicar las cosas; que Chung Yu es más valeroso que tú; y que Chuan Sun es más elegante que tú?».

En su ansia por obtener respuesta, Pu Shang casi se cae de la tarima en la que estaban sentados. «Si todo eso es cierto», añadió, «entonces, ¿por qué los cuatro son discípulos tuyos?».

Confucio respondió: «Quédate donde estás y te lo diré. Yen Hui sabe cómo ser honrado, pero no sabe cómo ser flexible. Tuan Mu Tsu sabe cómo explicar las cosas, pero no sabe dar un simple 'sí' o un 'no' por respuesta. Chung Yu sabe cómo ser valeroso, pero no sabe ser prudente. Chuan Sun sabe cómo ser elegante, pero no sabe ser modesto. Por eso los cuatro están contentos de estudiar conmigo».

(ANTHONY de MELLO. "El canto del pájaro". Ed. Sal Terrae. Santander, 1982.)

A Felisa, María y Marta

AGRADECIMIENTOS

A mi director, el PROF. DR. ANTONIO TEJEDO MATEU, del que como maestro aprendí su modestia, prudencia, flexibilidad y sabiduría.

Al Prof. Juan Jiménez Castellanos que me abrió cordial y afectuosamente las puertas en el regreso.

A mis compañeros del CENTRE DE MEDICINA DE L'ESPORT DE BARCELONA, pues sin su colaboración no se hubiesen podido tomar los datos de esta tesis. Y al DR. JOSEP ESTRUCH por sus facilidades como director del centro.

A BEGOÑA CAMPOS, por su paciencia y conocimientos estadísticos que me permitieron orientar tantos números y tantos conceptos.

INDICE

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCIÓN	→ 1
2. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS	→ 25
3. MATERIAL Y MÉTODO	
3.1. PREDETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA	→ 27
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA	→ 27
3.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA	→ 29
3.4. ANTROPOMETRÍA	→ 31
3.4.1. PUNTOS DE REFERENCIA ANATÓMICOS	→ 35
3.4.2. PUNTOS DE REFERENCIA DERIVADOS	→ 39
3.4.3. PLIEGUES CUTÁNEOS	→ 42
3.4.4. OBJETIVO MORFOLÓGICO	→ 47
3.5. VALORACIÓN FUNCIONAL	
3.5.1. CONCEPTOS FÍSICOS	→ 48
3.5.2. DESARROLLO DE PROTOCOLOS	→ 48
3.5.3. OBJETIVO FISIOLÓGICO	→ 52
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	→ 52
3.7. ANÁLISIS INFORMÁTICO	→ 53
3.8. INSTRUMENTAL	→ 53
4. VALIDACIÓN DEL PORCENTAJE GRASO	→ 57
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. PORCENTAJE GRASO	→ 60
5.2. SUMA DE PLIEGUES	→ 62
5.3. PESO CORPORAL TOTAL Y PESO MAGRO	→ 65
5.4. VO ₂ máximo DIRECTO E INDIRECTO	→ 67
5.5. REPRESENTACIÓN POR FRECUENCIAS	→ 70
5.6. RELACIÓN PESO - CONSUMO DE OXÍGENO	→ 77
5.7. DISMORFISMO SEXUAL	→ 83
5.8. ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO	→ 88
5.9. INCIDENCIA DEL PESO MAGRO	→ 92

5.10. REVISIÓN MATEMÁTICA DE LAS ECUACIONES	→ 93
6. CONCLUSIONES	→ 96
7. BIBLIOGRAFÍA	→ 98
8. ANEXO	
8.1. ECUACIONES	→ 105
8.2. TABLAS	→ 108
8.3. GRÁFICAS	→ 111
8.4. FIGURAS	→ 114

1. INTRODUCCIÓN

TAMAÑO Y FUNCIÓN

«El hombre es el único animal que ha concienciado su evolución y empieza a comprender la necesidad de tomar sus propias riendas de sus procesos evolutivos futuros»

(Valls, 1985)

Una propiedad fundamental de la materia viva es el **crecimiento**, tal como se observa en los procesos del desarrollo embrionario y de regeneración fisiológica, siendo esta propiedad en la mayoría de los casos la responsable de la **diferenciación morfológica** y también de establecer la velocidad de un proceso evolutivo. Así pues, la presencia del ser humano, y su posterior análisis, no debe entenderse aisladamente sino incluida dentro de una escala biológica generalizada.

	TAXON	CRONES
Reino	ANIMALIA	800
Grado	METAZOA	
Phylum	CHORDATA	
Subphylum	VERTEBRATA	500
Superclase	TETRAPODA	350
Clase	MAMMALIA	200
Subclase	THERIA	
Infraclase	EUTHERIA	75
Orden	PRIMATES	70
Suborden	HAPLORHINI	
Superfamilia	HOMINOIDEA	35
Familia	HOMINIDAE	15
Género	HOMO	3
Especie	HOMO SAPIENS	0.15
Aparición "Homo Sapiens". (Valls, A)		

Toda la variabilidad de los procesos evolutivos entre individuos y grupos depende de la información genética codificada individualmente o influida por la acción del medio ambiente y por tanto no debe

hablarse exclusivamente de evolución sino de la existencia de una **base de variabilidad**.

Uno de los aspectos más sugerentes a la **variabilidad biológica** es el referente al tamaño. Con la frase «También nosotros fuimos pequeños», McMahon y Bonner (1986) intentaron evidenciar que el problema del tamaño es inherente a nuestra existencia. Es sorprendente que una ciencia moderna como la ingeniería, sí ha sabido aprovecharse hasta la actualidad del concepto de tamaño, o magnitud, mientras que la biología y fisiología poco han avanzado en este aspecto desde Galileo. Sin embargo fueron en primer lugar los fisiólogos quienes advirtieron el problema del tamaño. Rameaux y Sarrus (Citados por McMahon y Bonner), fisiólogo y matemático respectivamente, se percataron de que los animales perdían calor a través de la superficie corporal y que a su vez lo hacían en relación al volumen que poseían.

Otro ejemplo de relación entre el tamaño y la función biológica tiene lugar durante el desarrollo. En este proceso las velocidades de crecimiento no son uniformes, pues el incremento del tamaño del óvulo humano fecundado con un peso de 0.0015 mg, llega a ser en el recién nacido, con un peso de 3.5 kg, $2.3 \cdot 10^6$ veces más; mientras que el desarrollo postembrionario (de 3.5 á 75 kg) supone 21 veces más. Así pues, el estudio de este crecimiento no uniforme ha permitido a los embriólogos conocer, en líneas generales, las tasas de crecimiento y los cambios concomitantes en tamaño y forma.

El iniciador de este camino fué el matemático Greenhill, quien hacia 1880, definió con precisión la relación entre la altura y el diámetro de los árboles. Desde entonces se viene estudiando en otros campos de la ciencia, como es en la proporción de los miembros, huesos, y otros componentes estructurales de los organismos a lo largo del crecimiento.

Un ejemplo comparativo del tamaño corporal se expresa en el siguiente cuadro donde pueden observarse claramente los intervalos entre distintas especies animales. Se representan en base

10 para entender mejor las comparaciones interespecies de los tamaños con las grandes diferencias reales.

Ballena azul	-----	10^8
Ser humano	-----	10^5
Hamster	-----	10^2
Abeja	-----	10^{-1}
Ameba grande	-----	10^{-4}
Tetrahymena	-----	10^{-7}
Parásito de malaria	-----	10^{-10}
Micoplasma	-----	10^{-13}

No obstante el análisis de éstos cambios resultaba difícil de medir regularmente hasta que el británico Huxley y el francés Teissier (1936), zoólogos ambos, desarrollaron el método de las "relaciones de crecimiento relativo" o **Alometría**. El término Alométrico significa literalmente "de una medida diferente", del griego - alloios -, diferente.

ALOMETRÍA ES LA DESCRIPCIÓN DE LAS ESCALAS FISIOLÓGICAS EN RELACIÓN A LOS PROCESOS DEL TAMAÑO CORPORAL (McMahon). Consiste en la aplicación de utilidades gráficas o estadísticas para comparar al ser vivo cuantitativamente. No sólo tiene su utilidad en fisiología comparada sino que, como veremos más adelante, por medio de la Alometría se pueden entender muchos aspectos de la Biología.

Como explica Campbell (1977) al referirse al **Índice de Cefalización de Jerison**, la Alometría se aplica como concepto empírico al relacionar el peso cefálico con el corporal, y se emplea en comparaciones evolutivas entre mamíferos. Así pues, el encéfalo de un animal no aumenta isométricamente con su corpulencia, sino alométricamente con un coeficiente de crecimiento diferencial de 0.66. Es

decir, que si la corpulencia se duplica, el tamaño cefálico no aumenta dos veces, sino sólo $2^{0.66}$, o sea 1.58 veces su tamaño original. En consecuencia el Índice de Cefalización (**a**) sería:

$$a = \frac{y}{x^{0.66}}$$

Donde "y" es el tamaño corporal y "x" es el tamaño cefálico. Esta ecuación se deriva de la llamada ecuación alométrica $y = a \cdot x^b$, donde "y" es la variable dependiente, "x" la variable independiente, "a" es una constante y "b" el exponente dimensional.

La ecuación alométrica fue desarrollada en gran parte por Huxley junto a Teissier en 1932 y se limita a observar la relación entre dos características, dejando de lado los cambios de forma, y comparando los tamaños relativos de dos partes de un organismo, "x" e "y". Esta ecuación se transforma logarítmicamente en **$\log y = \log a + b \cdot \log x$** , donde "log" significa logaritmo en base 10.

El valor de "a" solamente sube o baja la línea en la gráfica logarítmica manteniendo la misma pendiente. Así pues, la línea recta representada en papel logarítmico expresa la relación entre las variables "x" e "y". Esta relación, cuando "x" es una variable que hace referencia al morfotipo e "y" un aspecto funcional de dicho cuerpo, se ha dado en llamar RELACIÓN ALOMÉTRICA.

Gould (1966) describió la Alometría como la **Ciencia que estudia las diferencias entre las proporciones de los organismos y su forma, y analiza aquellos procesos biológicos que se modifican con el cambio de magnitud**

o tamaño.

Así pues, sólo alométricamente entenderemos que si un elefante requiere más comida que un ratón, en proporción (gramo a gramo con relación a su peso) el ratón necesita más, o que la dosis de LSD por Kg de peso corporal para dormir a un gato mataría a un elefante (Schmidt-Nielsen, 1984).

ALOMETRÍA E ISOMETRÍA.

Cuando el exponente "b" de la ecuación alométrica es igual a 1 se habla de isometría o semejanza geométrica. Si "x" duplicase su longitud, también lo haría "y". Las proporciones permanecerían constantes y no se modificarían con el cambio de tamaño.

Supongamos un cubo de 4 cm de arista. La superficie de una de sus caras será l^2 , donde l es la longitud de la arista, y por tanto 16 cm^2 , pues la superficie es proporcional al cuadrado de la longitud y por tanto un aumento, por ejemplo de 10 veces en longitud significará un aumento de 100 veces de la superficie. Por otra parte el volumen del cubo será l^3 , y por tanto 64 cm^3 .

Supongamos que queremos calcular la superficie (S) de una esfera y tomáramos como medida de longitud el diámetro, y que la constante de proporcionalidad sea π . Sabemos que la superficie de una esfera es $S = \pi d^2$, y por tanto lo que estamos afirmando es que $S \propto l^2$, donde el signo \propto significa « **es proporcional a** » y "l" es el que utilizaremos para cualquier medida que identifiquemos como proporcional a otra. De la misma manera se puede hacer con el volumen (V) pues geoméricamente:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot d^3$$

y por tanto $V \propto l^3$, siendo l^3 el símbolo que en este caso representa al diámetro (d).

Estos conceptos de proporcionalidad nos permiten comprender, por ejemplo, la comparación de dos esferas (una canica y una pelota de baloncesto), pues si queremos que el diámetro de una de ellas aumente 10 veces, el volumen lo hará 10^3 , es decir 1000 veces.

RELACIONES FUNCIONALES ALOMÉTRICAS.

Se pueden estudiar en diversos ejemplos biológicos:

a) Algunos aspectos funcionales dependientes de la SUPERFICIE (l^2) se refieren a:

- El **intercambio de gases** que se realiza a través de la superficie alveolar de los pulmones, por agallas en los peces u hojas en las plantas.
- El **alimento que se absorbe** a través de la superficie del intestino.
- La **pérdida de calor** que se produce a través de la superficie de la piel, lengua y vías aéreas.
- La **fuerza** de un músculo que depende del área de su sección transversal.
- Y el **consumo metabólico** de un músculo que está asimismo relacionado con su área transversal.

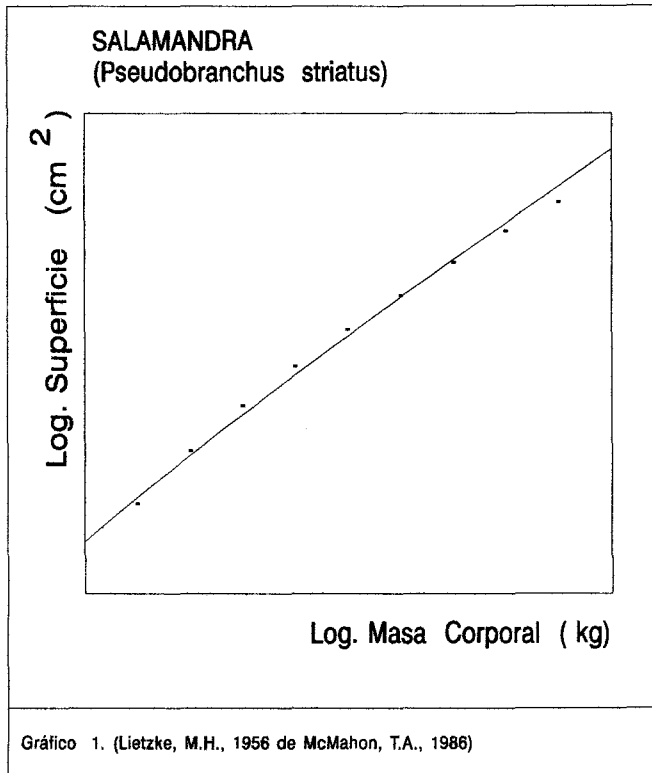
b) En cuanto al VOLUMEN (l^3), el factor más significativo es la masa y su relación con la gravedad y nos hace cuestionarnos ¿por qué todos los organismos

globulares, más o menos esféricos, tienen menos de un milímetro de diámetro?. La respuesta alométrica es que estos organismos deben intercambiar oxígeno y anhídrido carbónico y asimilar alimentos, y su capacidad para tales actividades varía según el cuadrado de la dimensión lineal, es decir l^2 , o superficie. La única posibilidad de que hubiese organismos esféricos grandes, por ejemplo de un metro de diámetro, sería que cambiasen sus proporciones e incrementasen ampliamente el área de su superficie mediante grandes repliegues, de modo que el cociente superficie/volumen permaneciese constante (McMahon).

c) En algunos grupos de mamíferos, incluido el hombre, la longitud de las cuerdas vocales o de otras estructuras productoras de sonidos es aproximadamente proporcional a la longitud del animal. De ahí que cuanto más largo sea el animal, más profunda será su voz.

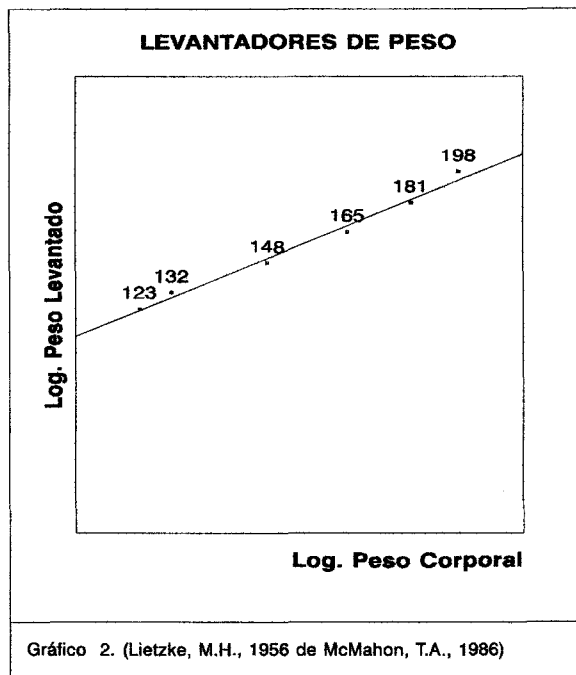
d) En bastantes especies animales, las áreas de la

superficie corporal resultan ser exactamente proporcionales a la potencia $2/3$ de la masa, es decir a $M^{2/3}$. En la gráfica 1 se muestra, en representación logarítmica, el área total de la superficie de un tipo de salamandra en función de la masa corporal.



En este caso el exponente $2/3$ ó 0.67 para la masa (M) se ajusta con precisión isométrica debido a que la piel de las salamandras es permeable al oxígeno.

e) La última prueba relativa al mantenimiento de la isometría dentro de una especie procede de los récords de las competiciones de halterofilia. En la gráfica 2



se muestra la relación entre la carga total levantada en tres movimientos como función creciente del peso corporal del atleta. Las competiciones de halterofilia se deciden habitualmente de acuerdo con la carga levantada por cada individuo. El gráfico anterior muestra que la carga levantada en cada una de las clasificaciones de pesos por deportistas hasta los 90 kg. de peso corporal es, con mucha precisión, proporcional al exponente 0.67 del peso corporal, y por tanto con **PROPORCIÓN ISOMÉTRICA**. Posteriormente otros autores (Ross y Corlett, 1980) obtuvieron un exponente de 0.69 en levantadores olímpicos.

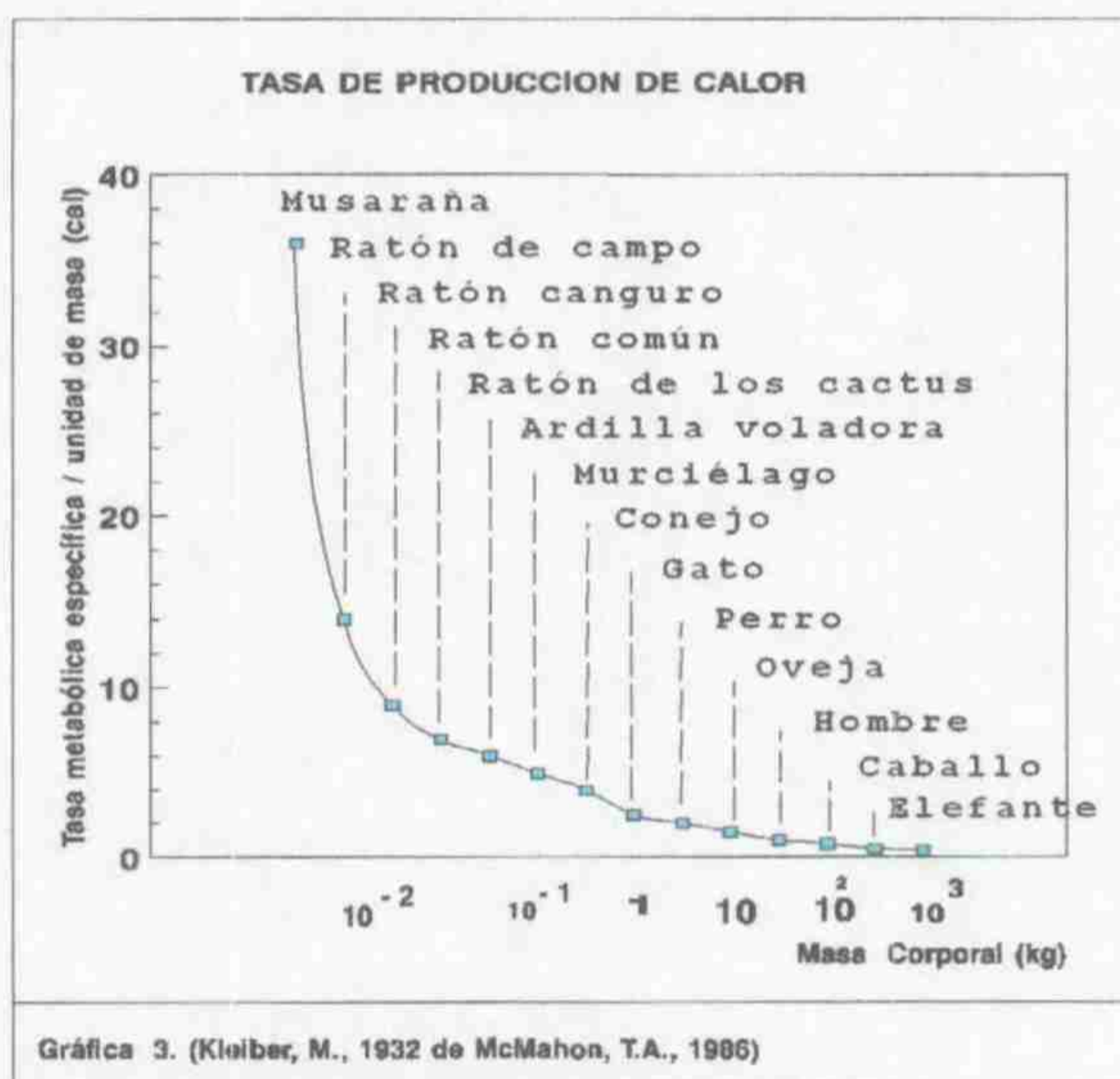
La comparación entre individuos de distinto tamaño dentro la misma especie revela, generalmente, una fiel isometría. Sin embargo se aprecian circunstancias particulares donde se necesitan cambios alométricos, y no isométricos compensatorios, frente a ciertas necesidades, como son la influencia de:

- AREA SUPERFICIAL, para la difusión, fricción y pérdida de calor.

- AREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL, para la resistencia a la tracción y transporte convectivo.
- VOLUMEN, para la masa corporal, volumen de metabolitos y flotabilidad.

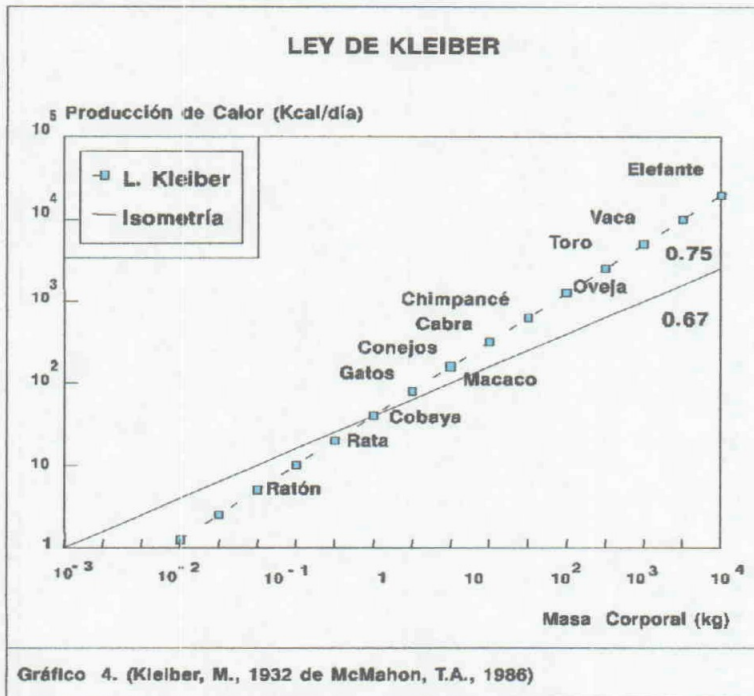
LA LEY DE KLEIBER FRENTE A LA ISOMETRÍA

Según esta ley, el metabolismo de los animales muestra una importante relación alométrica con el tamaño corporal. En la gráfica 3 se representa la producción de calor basal por unidad de masa en coordenadas semilogarítmicas.



Se observa que los animales más pequeños tienen las mayores tasas metabólicas intrínsecas, y esto explica por qué comen casi sin parar y parecen tener un nivel de actividad tan elevado.

Según la Proporción Isométrica la tasa basal de consumo de oxígeno de una especie es proporcional a $M^{0.67}$. La gráfica 4 muestra la denominada Ley de



Kleiber (1932), según la cual, al comparar dos especies, la tasa metabólica no muestra isometría (0.67) sino que es proporcional a 0.75 ($M^{0.75}$) en un amplio rango de animales. El análisis estadístico ha mostrado (Heusner y McMahon, 1986) que el mejor ajuste para todos los datos disponibles indica que una curva que vaya del ratón al elefante es una serie de líneas rectas de pendiente 0.67 (una para cada especie) organizadas de tal suerte que su media está situada sobre la línea de Kleiber (la línea que compara especies distintas), que tiene una pendiente de 0.75.

La relación de Kleiber entre tamaño y tasa metabólica adquiere también su interés en el desarrollo humano. El fisiólogo inglés Wilkie (1977) llamó la atención sobre cierta transición en la tasa metabólica registrada en los niños inmediatamente después del nacimiento. Las mediciones muestran que la tasa basal de consumo de oxígeno en el recién nacido aumenta, en unas 36 horas, de 3.5 ml/min/kg (con relación al tamaño de la madre) a unos 7 ml/min/kg (ya apropiada para la masa corporal del niño). Así pues, mientras el feto está en el claustro materno, e incluso en las

primeras horas postparto, se comporta metabólicamente como si fuese uno más de los órganos maternos, acoplándose a la intensidad metabólica relativamente baja determinada por el peso de la madre.

En las 36 horas que siguen al nacimiento, las tasas de actividad de sus enzimas y sus mitocondrias han cambiado, acelerando sus procesos celulares lo suficiente para llegar, en el segmento de la línea de Kleiber que correspondiese a los humanos, al punto determinado por su propio peso como un ser pequeño y autónomo.

Los estudios alométricos de Gould también nos alertaron sobre la relación entre la masa corporal y el tamaño de algunos órganos.

En la tabla siguiente se muestra una revisión histórica sobre las ecuaciones alométricas de algunos autores para diferentes órganos en animales:

Componente	N	r	Mamíferos	Referencia
Tiroides	100	0.947	0.0001 M ^{0.92}	Brody, 1945
Hígado	175	0.984	0.033 M ^{0.87}	Brody, 1945
Intestinos	41	0.925	0.075 M ^{0.94}	Brody, 1945
Cerebro	309	0.960	0.011 M ^{0.76}	Brody, 1945
Pulmones	100	0.922	0.011 M ^{0.99}	Stahl, 1967
Corazón	568	0.980	0.006 M ^{0.94}	Stahl, 1967
Grasa	54	0.969	0.075 M ^{1.19}	Bullard, 1968
Músculo	42	0.992	0.468 M ^{0.99}	Pitts, 1968
Músculo	42	0.992	0.468 M ^{0.99}	Pitts, 1968
Sangre	840	0.990	0.069 M ^{1.02}	Nirmalen, 1972
Esqueleto	49	0.992	0.061 M ^{1.09}	Prange, 1979

N= n° de casos. r= Coef. de Correlación de Pearson

W.CALDER III. Size, Function, and Life History, 1984.

DIMENSIONES Y PROPORCIONES.

Afirmar que el metal está relativamente frío o que corremos relativamente rápidos, no esclarece gran cosa a menos que se especifique « en relación a qué ». Por tanto para establecer comparaciones necesitamos un modelo de relación. Dicho modelo dependerá de las variables físicas que pretendamos utilizar, teniendo en cuenta que los fenómenos biológicos se expresan en unidades de longitud, masa o tiempo. La especificación dimensional de una variable física, llamada su **Fórmula Dimensional**, muestra las cantidades fundamentales (señaladas por letras mayúsculas), elevadas a potencia y cerradas entre corchetes. Así, la fórmula dimensional del área es $[L^2]$, y la de la velocidad $[L T^{-1}]$, de acuerdo con la tabla siguiente en la que se exponen las fórmulas dimensionales de algunas variables físicas según se exprese en el sistema Masa-Longitud-Tiempo (MLT) o en el sistema equivalente Fuerza-Longitud-Tiempo (FLT).

	MLT	FLT
Longitud, l	[L]	[L]
Tiempo, t	[T]	[T]
Fuerza, F	[M L T ⁻²]	[F]
Area, A	[L ²]	[L ²]
Frecuencia, f	[T ⁻¹]	[T ⁻¹]
Masa, m	[M]	[F L ⁻¹ T ⁻²]
Velocidad, v	[L T ⁻¹]	[L T ⁻¹]
Aceleración, g	[L T ⁻²]	[L T ⁻²]

Presión Tensión	P S	$[M L^{-1} T^{-2}]$	$[F L^{-2}]$
Energía (Trabajo)	ε	$[M L^2 T^{-2}]$	$[F L]$
Viscosidad dinámica	μ	$[M L^{-1} T^{-1}]$	$[F L^{-2} T]$
Tensión superficial	s	$[M T^{-2}]$	$[F L^{-1}]$
Densidad de masa,	ρ	$[M L^{-3}]$	$[F L^{-4} T^{-2}]$
Módulo de Elasticidad	E	$[M L^{-1} T^{-2}]$	$[F L^{-2}]$
Calor específico a presión constante	C_p	$[L^2 T^{-2} \theta^{-1}]$	$[L^2 T^{-2} \theta^{-1}]$
Conductividad Térmica	k	$[M L T^{-3} \theta^{-1}]$	$[F T^{-1} \theta^{-1}]$

Como podemos observar, las unidades, incluso energéticas, pueden derivarse de la unidad básica: la longitud. Sobre esta premisa van Döbeln (1956) desarrolló las dimensiones en física y en fisiología expresadas por Astrand y Rodahl en su libro Fisiología del Trabajo Físico (1985).

LA SEMEJANZA ELÁSTICA COMO CONCEPTO DE PROPORCIONALIDAD

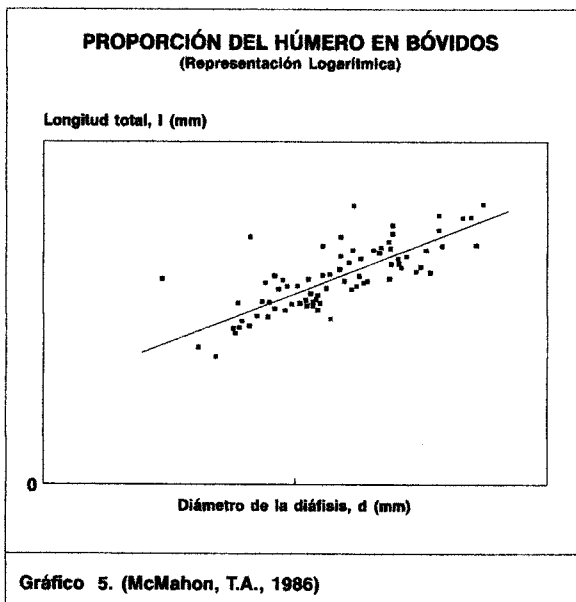
McMahon y Bonner consideran la SEMEJANZA ELÁSTICA como una nueva regla de proporcionalidad alternativa a la isometría (semejanza geométrica). Esta nueva teoría de proporcionalidad utiliza dos escalas de longitud en lugar de una.

De esta manera, cuando al medir un hueso largo lo hacemos a lo largo del eje mayor longitudinal, en el concepto de proporción por semejanza elástica incluiremos una medida, también de longitud, pero transversal, que son los diámetros.

Por tanto bajo el análisis por semejanza elástica, cualquier medición longitudinal será proporcional (\propto) a la longitud (l) y las mediciones transversales serán proporcionales (\propto) al diámetro (d). Para comprobar, por ejemplo, la relación de proporcionalidad entre la longitud y el diámetro de los huesos, debemos observar la gráfica 5, donde se representan los húmeros de distintas especies de familias de bóvidos. La representación logarítmica demuestra que su punteado se ajusta bastante bien a una línea con pendiente 2/3 según requiere la teoría de la proporción por semejanza elástica.

De una forma equivalente, el diámetro es proporcional a la potencia 3/2 de la longitud. Las ecuaciones de predicción encontradas para ambas relaciones se expresan a continuación:

$$l = 24.04 \cdot d^{0.66} \quad \text{y} \quad d = 0.0087 \cdot l^{1.5}$$



TAMAÑO DEL CUERPO Y TASA METABÓLICA

En biología humana es frecuente la tendencia a comparar medidas y funciones corporales entre dos sujetos de diferente tamaño. Sin embargo para comparar cualquier parámetro debiéramos conocer cual es el modelo comparativo, o lo que es lo mismo que la relación entre un cuerpo pequeño y otro grande no es a escala fija.

Un ejemplo sobre este tema fue la descripción del metabolismo basal, que tanto ayudó a entender numerosos procesos fisiológicos.

Supongamos que un cuerpo puede representarse, desde un punto de vista de proporcionalidad gráfica, en una conjunción de cilindros correspondientes a cada uno de los segmentos del mismo. Iniciemos nuestra deducción con la relación matemática de proporción de un concepto bien conocido: **el peso corporal expresado en kilogramos no es otra cosa que el reflejo de la masa corporal y por tanto del volumen que ocupa.** Si cada segmento de un cuerpo contribuye con una fracción a la masa total del mismo, el producto del diámetro (d) al cuadrado por la longitud (l) darán como resultante un parámetro de masa corporal y por tanto será proporcional a ella:

$$d^2 \cdot l \propto m$$

Si seguimos las leyes del modelo de la isometría, donde los diámetros guardarían una proporción con las longitudes de igual a igual, es decir, los cambios de un diámetro óseo llevarían asociado un cambio de longitud a escala 1:1 ($d \propto l$), significaría que sustituyendo "d" por "l" nos quedaría:

$$l^2 \cdot l = l^3$$

que también sería proporcional a la masa corporal:

$$l^3 \propto m$$

y en consecuencia, la longitud de un segmento es proporcional a la raíz cúbica de la masa, ya que:

$$l^3 \propto m \text{ es igual a } l \propto \sqrt[3]{m}$$

o lo que es lo mismo:

$$m^{1/3} \text{ (} m^{0.333}\text{)}$$

De donde se deduce que la masa de un cuerpo es un concepto de volumen (l^3) de las distintas medidas lineales.

Sin embargo, si siguiéramos las leyes de la Semejanza Elástica, que como hemos reflejado anteriormente nos ofrece exponentes de relación iguales a 0.66 ($2/3$) y 1.5 ($3/2$), las ecuaciones de proporcionalidad serían:

$$l \propto d^{2/3} \quad \text{ó} \quad d \propto l^{3/2}$$

Con estos valores de referencia intentaremos determinar su relación con la masa corporal utilizando la ecuación inicial:

$$d^2 \cdot l \propto m$$

a) Para el DIÁMETRO:

$$\begin{array}{ccc} d^2 \cdot l & \propto & m \\ \downarrow & & \downarrow \\ d^2 \cdot d^{2/3} & \propto & m \end{array}$$

como d^2 es equivalente a $d^{6/3}$ (aunque también a $d^{8/4}$ ó $d^{4/2}$ ó $d^{10/5}$, pero el valor 3 para el denominador nos aconseja usar $d^{6/3}$), entonces:

$$\begin{array}{ccc} d^2 \cdot d^{2/3} & \propto & m \\ \downarrow & & \downarrow \\ d^{6/3} \cdot d^{2/3} & \propto & m \\ \hline & \downarrow & \\ d^{8/3} & \propto & m \end{array}$$

o lo que es igual:

$$d \propto m^{3/8} \quad (m^{0.375})$$

b) Para la LONGITUD

$$\begin{array}{rcccc}
 d^2 & \cdot & l & \propto & m \\
 \downarrow & & \downarrow & & \\
 d & \cdot & d & \cdot & l & \propto & m \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 l^{3/2} & \cdot & l^{3/2} & \cdot & l & \propto & m
 \end{array}$$

como "l" es equivalente a $l^{2/2}$ (aunque también a $l^{3/3}$ ó $l^{4/4}$, pero el valor 2 para el denominador nos obliga a usar $l^{2/2}$), entonces:

$$\begin{array}{rcccc}
 l^{3/2} & \cdot & l^{3/2} & \cdot & l & \propto & m \\
 \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \\
 l^{3/2} & \cdot & l^{3/2} & \cdot & l^{2/2} & \propto & m \\
 \hline
 & & l^{8/2} & & \propto & m \\
 & & \downarrow & & & \\
 & & l^{4/1} & & \propto & m
 \end{array}$$

o lo que es igual:

$$l \propto m^{1/4} \quad (m^{0.25})$$

Y por tanto obtenemos que:

$d \propto m^{3/8}$	$l \propto m^{1/4}$
---------------------	---------------------

Podemos observar que $3/8$ ($= 0.375$) es mayor que $1/3$ ($= 0.333$) - recordemos que $1/3$ es el exponente por deducción cuando anteriormente usamos las leyes de la isometría - mientras que $1/4$ ($= 0.25$) es menor que $1/3$. Esto demuestra que el diámetro aumenta con el tamaño del cuerpo más deprisa de lo que lo hace en la isometría, mientras que la longitud lo hace más despacio. Se trata de un concepto diferente de proporcionalidad, ya que en definitiva se pretende crear un modelo, y en este

caso se define, el MODELO DE RELACIÓN entre diámetro y longitud del hueso respecto a la masa corporal, pues sabemos que durante las diferentes fases de crecimiento y desarrollo no existen proporciones isométricas de los cambios.

En fisiología las diferencias anatómicas entre sujetos no llevan asociadas cambios proporcionales isométricos (exponente dimensional igual a la unidad) para cualquier parámetro fisiológico. La descripción de la tasa metabólica es un buen ejemplo.

Mucho antes de que Kleiber publicara sus conclusiones señalando que la tasa metabólica basal de los mamíferos era proporcional a $m^{0.75}$, otros investigadores habían observado que **el cociente entre tasa metabólica y peso corporal no era constante.**

El fisiólogo alemán Max Rubner (1883) propuso que la tasa metabólica se hallaría limitada por el área superficial del cuerpo, recordando que el oxígeno entra y sale a través de superficies proporcionales al área total del mismo. Pero este razonamiento plantea un problema: el área superficial total del cuerpo, medida en mamíferos, desde el más pequeño al más grande, guarda proporción con un exponente de masa alométrico y diferente del correspondiente a la tasa metabólica basal.

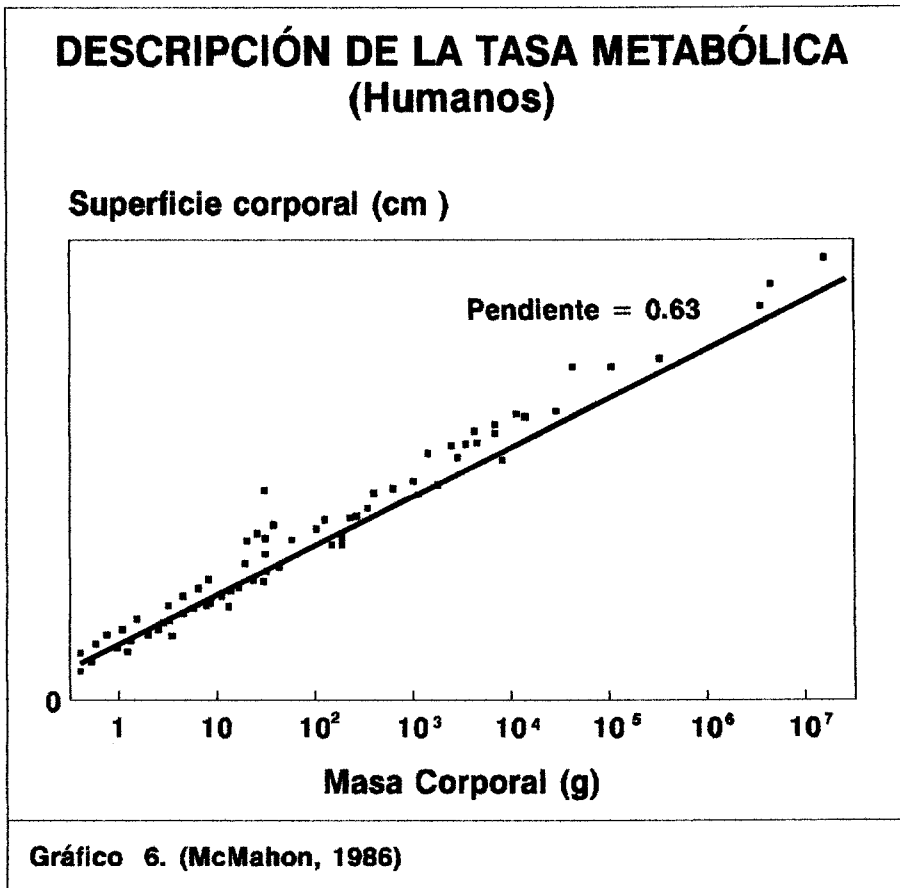
Si el área superficial es proporcional a $m^{0.63}$, es muy distinto a la tasa metabólica, que es proporcional a $m^{0.75}$.

Está claro que la superficie total del cuerpo de los animales segmentados es proporcional al área cilíndrica de cualquiera de los segmentos, que es, a su vez, proporcional al producto de la longitud por el diámetro.

En animales isométricos, el producto de la longitud por el diámetro varía proporcionalmente según la fórmula anteriormente expuesta ($l \cdot d \propto m^{2/3}$), teniendo en cuenta que $m^{2/3}$ es igual a $m^{0.67}$, mientras que en animales con semejanza elástica, dicho producto es proporcional a:

$$m^{1/4} \cdot m^{3/8} = m^{5/8} = m^{0.625}$$

¿Qué modelo de relación deberemos adoptar? La respuesta podemos observarla en la gráfica 6, pues coinciden con las predicciones de la semejanza elástica, y por tanto no están en armonía con la idea de que las tasas metabólicas vienen limitadas por el área de la superficie corporal.



Una posibilidad alternativa es que el área de la sección transversal del cuerpo sea el factor condicionante, y no la superficie total. La semejanza elástica predice que el área de la sección transversal (d^2) de cualquier parte anatómica del cuerpo es proporcional a la masa (m) elevada a 0.75:

$$d^2 \propto m^{0.75}$$

Adviértase que 0.75 es el exponente de la Ley de Kleiber. Existen además, razones por las cuales el área de la sección transversal debe relacionarse con las tasas metabólicas. Si la máxima fuerza desarrollada por cualquier músculo es dependiente del tamaño del cuerpo, y el área de sección transversal del músculo aumenta proporcionalmente a $m^{3/4}$, tanto la fuerza desarrollada por el músculo como la demanda de oxígeno, que es consecuencia de dicha fuerza, aumentaría también proporcionalmente a $m^{3/4}$.

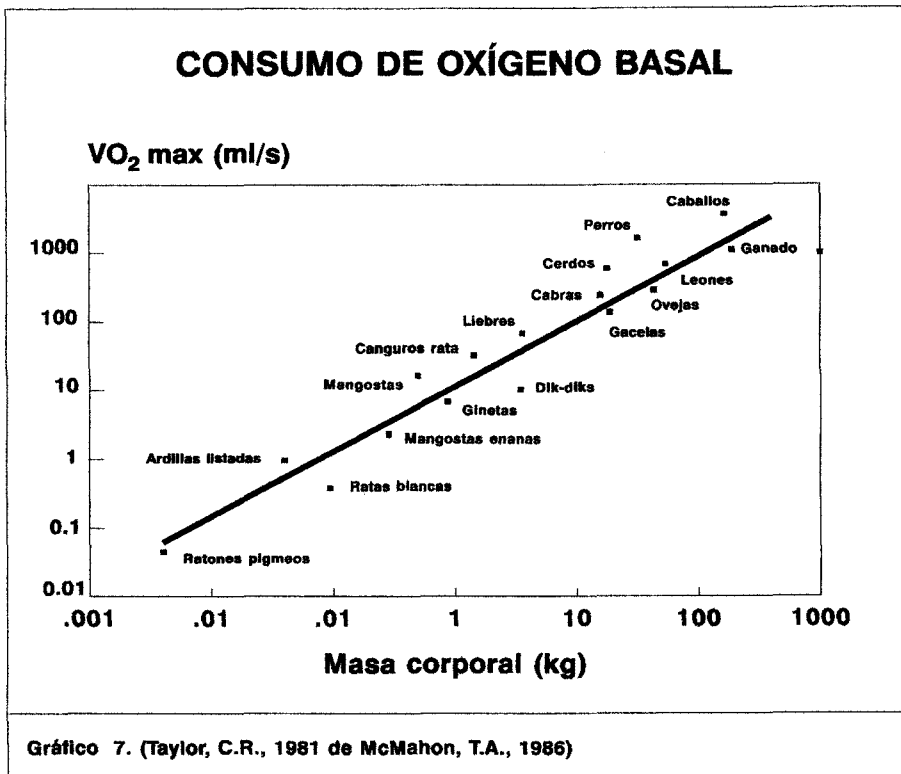
En la gráfica 7 aparecen los resultados obtenidos por el zoólogo Taylor y colab.(1981) a partir de las mediciones del consumo máximo de oxígeno en función de la masa corporal en animales de laboratorio, domésticos y salvajes.

El tamaño de los animales estudiados va del ratón pigmeo, de 8 gramos de masa, al caballo, que pesa más de 250 kilogramos. La línea de máximo consumo de oxígeno presenta una pendiente ligeramente superior que la representación lineal del consumo de oxígeno basal (0.809 frente a 0.75), pero Taylor mantiene que esas pendientes no constituyen una diferencia relevante.

Aún existen hoy día muchas incógnitas sobre el Consumo Máximo de Oxígeno, de tal manera que no hay razón lógica alguna, ni estadística, por la que el consumo máximo de oxígeno deba ser una proporción exacta de la tasa basal. En fisiología del ejercicio se encuentra muy extendida la idea que el valor máximo del consumo sea unas 10 veces dicha tasa basal. ¿Por qué no dos o cien veces?, o comprender qué es lo que limita esa relación entre tasas metabólicas máxima y basal (el cociente se denomina **amplitud metabólica**), o conocer, según McMahon y Bonner, cómo una célula sabe si pertenece a un perro grande o pequeño y cómo ajusta su tasa metabólica basal de acuerdo con ello. La masa muscular es la principal responsable de la ejecución del ejercicio o trabajo físico. Si consideramos que el trabajo es el producto de la fuerza por la distancia, es decir $l^2 \cdot l = l^3$ en

términos de una sólo variable, o lo que es lo mismo M (Masa), pues $l^3 \propto M$, será esta la manera como el ejercicio físico tasado metabólicamente está en relación con la masa de los músculos.

De igual forma también puede considerarse que la Potencia es proporcional a $l^3 \cdot t^{-1}$, ya que se considera al trabajo por unidad de tiempo y por consiguiente proporcional a l^2 , o lo que es lo mismo $M^{2/3}$.



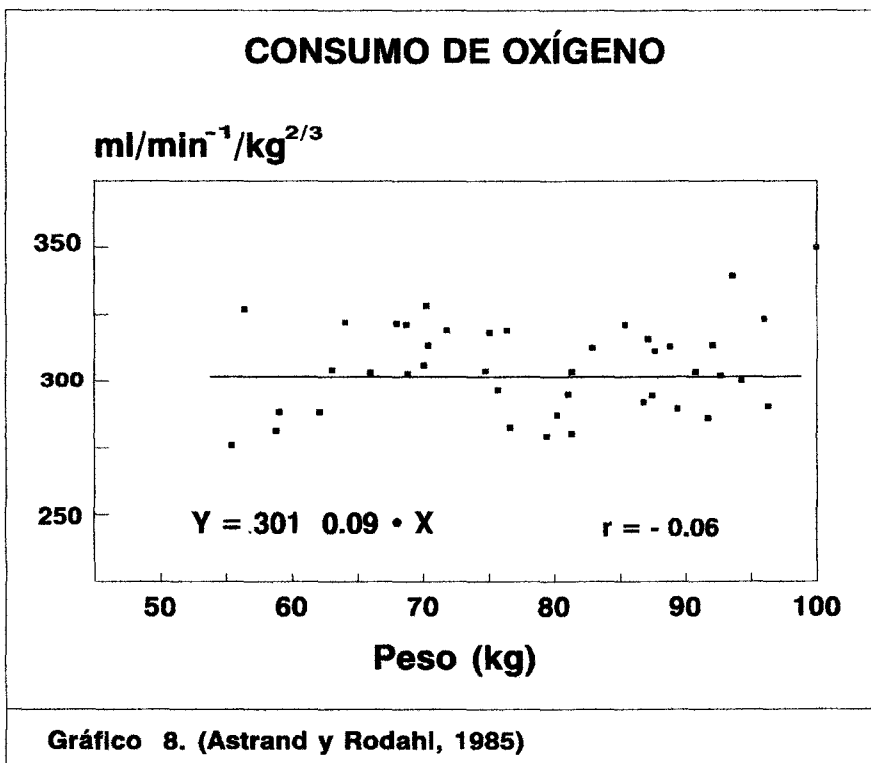
Este exponente de $2/3$ indicará que el consumo de oxígeno en reposo para la especie animal es proporcional a la masa del animal elevado a $2/3$ (0.66), sin embargo como hemos visto antes, Brody (1945) demostró experimentalmente que el exponente de la Masa para la relación con consumo de oxígeno era 0.74 (recordemos la Ley de Kleiber), al igual que posteriormente Adolph (1949) fijó la relación en 0.734. En todos los casos, aunque diferentes, son exponentes menores que la unidad, aplicados al peso corporal.

La explicación biológica al encontrar un exponente inferior a la unidad será que **los animales más pequeños deben ser más activos por unidad de peso corporal que los más grandes.**

Los estudios que más se han aproximado al análisis dimensional del consumo de oxígeno en grandes poblaciones son los realizados por Vaage y Hermansen. En la gráfica 8 los autores reflejan la expresión gráfica del consumo de oxígeno en función a $\text{ml}^1/\text{min}^{-1}/\text{kg}^1$ y a $\text{ml}^1/\text{min}^{-1}/\text{kg}^{2/3}$.

En ella se aprecia la falta de relación del consumo de oxígeno, expresado en $\text{ml}^1/\text{min}^{-1}/\text{kg}^{2/3}$ con el peso corporal, por lo que podría emplearse como un buen índice de aptitud en lugar de la expresión $\text{ml}^1/\text{min}^{-1}/\text{kg}^1$.

Sin embargo esta última expresión dimensional **nos infravalora los resultados obtenidos por aquellos deportistas que desplazan mayor peso,** como consecuencia de un error biológico al no tener en cuenta la relación alométrica entre el consumo de oxígeno y la masa corporal.



Esta reflexión concuerda con el análisis de los valores de Consumo de Oxígeno en niños, hallados en la bibliografía, pues son mayores en términos relativos y sin embargo la eficacia, producto del esfuerzo, no exenta de factores biomecánicos, indica una respuesta fisiológica menor (Astrand, 1977).

También en este sentido Bailey (1974) afirma que existe un pobre entendimiento sobre los aspectos de dimensionalidad en materia de consumo de oxígeno pues en la práctica de la medicina del deporte observó que los nadadores suecos en crecimiento mejoraban sus marcas y todos los parámetros fisiológicos, pero descendían el consumo de oxígeno con relación al peso corporal o que los patinadores canadienses infantiles sometidos a importantes volúmenes de entrenamiento aeróbico mejoraban los resultados de los tests de campo mientras que bajaban las predicciones del potencial aeróbico expresado en ml/kg.

Creemos que el planteamiento de los objetivos de este estudio concuerdan con la reflexión de Astrand y Rodahl en un párrafo de su obra Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise cuando afirman:

"En la medicina del deporte, a menudo, se establecen comparaciones de parámetros fisiológicos entre deportistas para explicarnos las adaptaciones funcionales debidas al entrenamiento y de esta manera programar la estrategia en los programas de trabajo destinados a su mejora. Sin embargo hemos pasado por alto el análisis dimensional, referente al tamaño, y la influencia que tienen sobre el análisis fisiológico. De esta manera nos vemos obligados, en primer lugar, a valorar los aspectos referentes al esfuerzo en función al tamaño de los sujetos. La explicación de las diferencias fisiológicas existentes entre

individuos pudieran ser: morfológicas, fruto de las adaptaciones biológicas o conjuntamente las adaptaciones biológicas y morfológicas. No es posible analizar la relación entre estas tres variables humanas si no igualamos, dimensionalmente, una de ellas: el tamaño corporal".

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

El motivo de llevar a cabo esta tesis doctoral ha sido el hecho de que a lo largo del ejercicio profesional en el ámbito de la medicina de la educación física y el deporte se nos ha hecho evidente una serie de interrogantes que exponemos a continuación

1º) Basándonos en la Anatomía, ¿cuales son los parámetros biotipológicos dependientes del peso corporal en la población deportiva referentes a la variabilidad de la distribución grasa?.

2º) Las diferencias interindividuales encontradas en un parámetro de rendimiento, como es el Consumo Máximo de Oxígeno, ¿se deben exclusivamente a la adaptación biológica (morfológica, funcional, etc.) ocasionada por el esfuerzo del entrenamiento?. Entendemos que es necesaria una investigación previa que nos ofrezca un modelo comparativo en los deportistas entrenados, relación ALOMÉTRICA entre sus dimensiones corporales y su prestación en el esfuerzo, pues parece lógico pensar que si a lo largo de la evolución biológica de las especies se han encontrado funciones matemáticas que explican la adaptación a su hábitat, al hombre con su adecuación para el movimiento, también le haya sido concedida una evolución al esfuerzo, que se exprese a lo largo de su crecimiento y desarrollo.

3º) Con relación a la interpretación o valoración de la capacidad funcional del deportista mediante el consumo máximo de oxígeno, creemos que su mayor o menor eficiencia biológica debe relacionarse con la evolución dimensional alométrica, y no considerarlo directamente proporcional, como se asume al hacer comparaciones.

4º) ¿Podemos seguir aceptando que las tablas de consumo de oxígeno que se utilizan en la actualidad, numerosas por cierto, sólo permitan la comparación entre individuos con el mismo tamaño corporal?. Creemos que se hace necesario corregir este error heredado y permitir que se valoren proporcionalmente las prestaciones del deportista en función a las dimensiones de su cuerpo, aunque en comparación con sus semejantes.

5°) ¿Puede ser el consumo de oxígeno un parámetro capaz de determinar la aptitud de un deportista si mantenemos su unidad métrica con relación al peso corporal? Necesitamos saber cual es el exponente dimensional para el hombre y el de su peso para con el consumo máximo de oxígeno. Por otra parte parecería más lógico, en términos teóricos, calcular cual debería ser el consumo máximo de oxígeno para sujetos de diferentes pesos, bien en el desarrollo de sus funciones vitales, en el deporte, dentro de procesos patológicos, o en la esperanza de vida.

6°) Según palabras de GÜNTER *"el peso corporal de un organismo representa en fisiología comparativa un índice adecuado de referencia para la correlación de las características morfológicas y fisiológicas"*. Pero, ¿todo su peso corporal?, ¿su peso funcional-magro?. Si queremos analizar las diferencias entre individuos y sexos de algunas variables fisiológicas como son el contenido en hemoglobina, ventilación pulmonar o volumen minuto cardíaco, parece aconsejable tabular las diferencias dimensionales con exclusión del tejido graso, pues éste resulta funcionalmente nulo.

3. MATERIAL Y MÉTODO

3.1. PREDETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Tiene como objetivo calcular la muestra mínima a partir de la cual estaríamos en condiciones de probar la significación, o no, de los resultados.

Para ello se realizó un estudio piloto con 200 deportistas, para el test directo, y 1000 deportistas para el indirecto, estudiando en cada caso el error estándar (S_m) para las diferentes variables. El valor del S_m nos aconsejaba una muestra mayor de 400 para los tests directos y 1000 para los indirectos.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA

La muestra se seleccionó durante dos años en función a las características del entrenamiento de los deportistas, las cuales debían ser de tres o más sesiones por semana. Todos los sujetos estudiados practicaban una especialidad deportiva con metabolismo de predominio aeróbico (atletas fondistas, nadadores de diferentes estilos con distancias mayores o iguales a 200 m., futbolistas, jugadores de baloncesto, jugadores de balonmano, esquiadores de fondo, ciclismo, remo, hockey hierba y hockey sobre patines)

Se estudiaron 2732 deportistas del CMEB, 67.7 % de sexo masculino y 32.3 % de sexo femenino, que a la vez se subdividieron cada uno de ellos en dos grupos teniendo en cuenta el tipo de prueba de esfuerzo a la que fueron sometidos (test con determinación directa de gases o test con determinación indirecta del consumo máximo de oxígeno).

Se escogieron para la prueba de esfuerzo indirecta aquellos que realizaban tres sesiones de entrenamiento por semana y para la directa los que entrenaban cuatro o más veces por semana.

El cuadro siguiente especifica la distribución:

PRUEBA	MASCULINO	FEMENINO	TOTAL
INDIRECTA	1505	722	2227
DIRECTA	345	160	505
TOTAL	1850	882	2732

Con idéntico objetivo hemos distribuido la muestra total en función a la edad de los sujetos, distribuida siguiendo el criterio de los rangos establecidos por Astrand y Ryhming para la determinación indirecta del consumo máximo de oxígeno. La siguiente tabla presenta la distribución conjunta de la muestra según edad y sexo.

MUESTRA CONJUNTA			
EDAD	M	F	TOTAL
≤ 15	787	474	1261
16 - 25	697	322	1019
26 - 35	252	47	299
≥ 36	114	39	163
TOTAL	1850	882	2732

Así como la submuestra sometida al test directo

MUESTRA DE TEST DIRECTO			
EDAD	M	F	TOTAL
≤ 15	107	65	172
16 - 25	146	73	219
26 - 35	67	10	77
≥ 36	25	12	37
TOTAL	345	160	505

Y la submuestra sometida al test indirecto

MUESTRA DE TEST INDIRECTO			
EDAD	M	F	TOTAL
≤ 15	680	409	1089
16 - 25	551	249	800
26 - 35	185	37	222
≥ 36	89	27	116
TOTAL	1505	722	2227

3.3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Por tanto nuestro objetivo, como en cualquier trabajo de investigación médica, era obtener unos resultados aplicables a la población deportiva tomando una muestra de 2732 casos de diferentes edades y sexo.

Como quiera que los 2732 deportistas no suponen el total de la población deportiva, realizamos un estudio de comparación con los que habitualmente acuden a someterse a controles de rendimiento en un centro de medicina del deporte.

Sobre los archivos del Centre de Medicina de l'Esport de Barcelona (CMEB) se tomaron los 500 deportistas de idénticas características que pasaron por el Centro en el año anterior (n=500) y realizamos la distribución por sexo. Y añadimos nuestro porcentaje de distribución de la muestra estudiada para cada una de las variables. En la tabla siguiente aparece la distribución comparativa por sexo, donde no se apreciaron diferencias significativas.

	CMEB N = 500	MUESTRA ESTUDIO N = 2732
M	69.2 %	67.7 %
F	30.8 %	32.3 %

Para los diferentes rangos de edades los resultados fueron:

	CMEB N = 500	MUESTRA ESTUDIO N = 273
≤ 15	48.0 %	46.1 %
16 - 25	38.2 %	37.3 %
26 - 35	9.8 %	10.9 %
≥ 36	4.0 %	5.7 %

En la distribución siguiente se expresan los porcentajes comparativos entre las dos agrupaciones, respetando los rangos de edades que se han mostrado anteriormente:

	C M M	E B F	MUESTRA M	ESTUDIO F
≤ 15	30.0 %	18.0 %	28.8 %	17.3 %
16-25	29.1 %	9.1 %	25.5 %	11.8 %
26-35	7.1 %	2.7 %	9.2 %	1.8 %
≥ 36	3.0 %	1.0 %	4.2 %	1.4 %
	69.2 %	30.8 %	67.7 %	32.3 %

Teniendo en cuenta que las tablas anteriores presentan las distribuciones en porcentajes, es decir, como una variable cualitativa, hemos realizado la prueba de la homogeneidad de dos porcentajes para cada uno de los rangos y sexo mediante análisis estratificado de tablas de contingencia. Como se aprecia en todos los casos las diferencias no fueron significativas para una $p < 0.01$, lo cual indica que la población origen de la muestra del estudio es homogénea con la población origen de la muestra obtenida en el CMEB. De esta manera podremos afirmar que los resultados obtenidos en nuestro estudio pueden ser extrapolados al resto de la población deportiva.

3.4. ANTROPOMETRÍA

En la descripción morfológica del ser humano se han de tener en cuenta tres principios fundamentales para su posterior comprensión: forma, estructura y función, pues, no hemos de olvidar, que todos los elementos que describamos están destinados a realizar una función, bien sea de tipo vegetativo o bien motora y de relación.

De aquí, que el estudio anatómico pueda orientarse en un sentido estático descriptivo o en relación con un futuro activo. Ahora bien, esa descripción puede variar de acuerdo con diferencias antropológicas (raciales), según la edad (cronológicas), estados de nutrición, medio ambiente (ecológicas) y culturales. Todos estos condicionantes pueden producir diferencias morfológicas externas muy aparentes; pero, si penetramos en el estudio de las diferentes estructuras que integran el cuerpo humano, podremos apreciar que sujetos aparentemente distintos en su morfología externa general, son prácticamente iguales en las proporciones de los diferentes tipos de tejidos que los componen.

Las variaciones constitucionales son la base fundamental del análisis morfológico y han llevado a los investigadores de esta ciencia a la búsqueda de unos determinados parámetros que permitan calcular la realidad de esas partes integrantes.

Para ello se ha establecido una serie de mediciones cuya combinación y extrapolación a un modelo estándar logra situar al individuo dentro de unos límites o categorías que a su vez lo clasifican en una tipología determinada.

Todo lo que antecede es preciso para comprender la importancia que tiene un conocimiento completo del cuerpo humano o por lo menos del aparato locomotor, que integrado por huesos, músculos y articulaciones constituye el molde o carcasa dentro del cual están protegidos el resto de órganos y aparatos que son mucho más delicados y fáciles de lesionar.

Asimismo, el conocimiento de esta envoltura que permite tanto los movimientos como la posición estática, trae aparejado la localización de ciertos puntos de referencia, fundamentalmente óseos, para llevar a cabo determinadas mediciones con el mínimo error posible. Es muy distinto reconocer los huesos y sus detalles más sobresalientes sobre un esqueleto que en un individuo que conserva todas sus partes blandas, más o menos desarrolladas, y que en un momento determinado, pueden conducir a variaciones en las medidas obtenidas que, a su vez, al ser trasladadas a las escalas correspondientes, nos sitúen al sujeto objeto del estudio, en un grupo alejado del que le corresponde en realidad, y ello nos induzca a pronosticar unas capacidades potenciales y una evolución que no se aproximan a las auténticas posibilidades, con lo cual, los fracasos pueden hacerse patentes y abundantes, sobre todo, cuando ya se ha producido una errónea orientación y la responsabilidad recaerá siempre directamente sobre la valoración cineantropométrica que se ha llevado a cabo.

Debido a que el cuerpo humano puede adoptar posturas muy variadas, conviene situarlo en una posición fija para que las observaciones y mediciones que se realicen estén siempre orientadas bajo los mismos parámetros que son los tres ejes del espacio: longitudinal, anteroposterior y transversal.

Para ello se coloca al sujeto en bipedestación, con los pies unidos, los brazos caídos a lo largo del cuerpo con las palmas de las manos vueltas hacia

adelante, el dedo pulgar separado de los otros que estarán totalmente extendidos y finalmente con la cabeza erguida y la mirada dirigida al infinito (Figura 1. Posición anatómica).

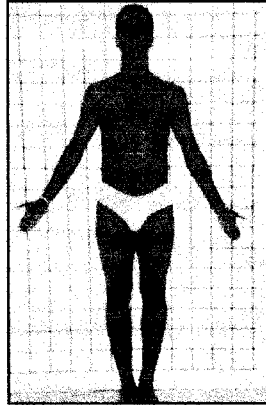


Figura 1

Sin embargo para mayor comodidad y evitar la alteración de algunos pliegues grasos se sitúa al sujeto en POSICIÓN ANTROPOMÉTRICA (Figuras 2 y 3), cuya diferencia se encuentra en que los brazos están situados a lo largo del cuerpo y con los dedos de las manos en posición natural al igual que la muñeca.



Figura 2



Figura 3

Situado de este modo, el eje longitudinal penetra por el cráneo, sigue a lo largo del tronco y termina en el plano sobre el que se apoya el individuo, discurriendo entre ambas extremidades inferiores. El eje anteroposterior se sitúa de delante hacia atrás,

paralelo al suelo y perpendicular al eje longitudinal.

El eje transversal se dispone paralelo al suelo, perpendicular a los dos anteriores y en dirección de derecha a izquierda. Cada uno de estos ejes engendra un plano que nos permitirá argumentar los puntos de referencia y las direcciones en el espacio (Figura 4).

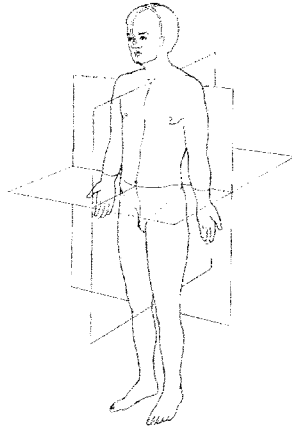


Figura 4

Así, tendremos un plano transversal u horizontal que dividirá al cuerpo humano en una zona superior al plano (craneal) y otra inferior al mismo (caudal).

El plano sagital dividirá al sujeto en dos mitades, una a cada lado de dicho plano, debido a lo cual, la estructura que esté más cerca del plano diremos que es medial y la que está más alejada será lateral.

Queda un tercer plano, el frontal o coronal, que divide al cuerpo en dos mitades, una anterior (ventral) y otra posterior (dorsal).

En cuanto a las extremidades, aparte de ventral y dorsal, existen nomenclaturas específicas para la orientación de las mismas. Así sus bordes, de acuerdo con los dos huesos del antebrazo y de la pierna se conocen como radial o externo y cubital o interno, para la extremidad superior, y fibular o externo y tibial o interno, en la inferior.

3.4.1 PUNTOS DE REFERENCIA ANATÓMICOS

Para determinar los parámetros biotipológicos estudiados ha sido necesaria la localización y marcado de los puntos de referencia anatómicos necesarios, al igual que los derivados de los anteriores. Para ello se ha seguido la estrategia de ROSS para los cálculos cineantropométricos y el protocolo de análisis biotipológico de Porta, Galiano, Tejedo y González de Suso (1993).

A partir de una visión global y exclusiva del esqueleto señalamos los huesos sobre cuyos detalles más sobresalientes tomamos los puntos de referencia para las mediciones. En primer lugar situamos al individuo objeto de estudio sobre la plataforma del tallómetro y aplicamos la rama horizontal sobre el vértex o punto más prominente del cráneo.

Para que esta posición sea correcta (Figura 5) se han de cumplir dos premisas: el dorso del tronco y pelvis han de estar en contacto con la barra vertical del tallómetro y para que la cabeza esté bien orientada, la rama horizontal del tallómetro que se apoya sobre el vértex ha de ser paralela al plano de Frankfort, que a su vez es paralelo al plano de sustentación.



Figura 5

Dicho plano se encuentra determinado por una línea que en sentido anteroposterior pasa por la base de la órbita y por el punto tragion (parte superior del trago del pabellón auditivo). (Figura 6).



Figura 6

De este modo obtenemos simultáneamente el peso y altura, siempre que el tallómetro esté incorporado a la báscula; en nuestro caso las mediciones fueron independientes.

Puntos Craneales

- VÉRTEX: Vértice del cráneo; es el punto superior más prominente de la bóveda craneana.
- TRAGION: Punto superior del trago del pabellón auditivo.

Puntos del tronco

- UMBILICAL: u Onfalion, es la cicatriz umbilical.
- ANGULO ESCAPULAR INFERIOR: Para localizarlo conviene que se hagan movimientos de abducción y adducción del brazo, con lo cual el ángulo se puede palpar perfectamente (Figura 7).



Figura 7

Puntos de la Extremidad Superior

- ACROMIAL: Corresponde al borde supero-externo del acromion o extremo libre de la espina de la escápula. Se palpa siguiendo la clavícula hacia afuera y allí donde se aprecia un escalón, se señala (Figura 8).

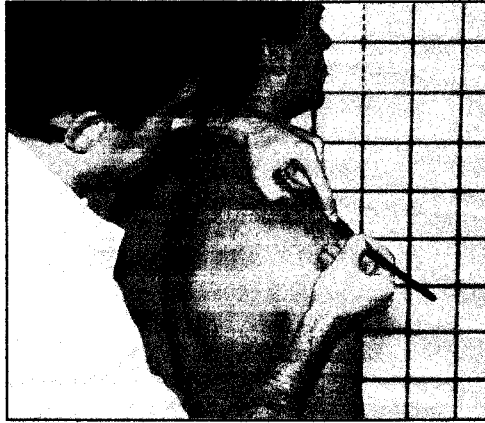


Figura 8

- RADIAL: Corresponde a la cabeza o extremo proximal del radio. Se localiza palpando el epicóndilo externo del húmero y deslizando el dedo explorador en sentido distal al mismo tiempo que el sujeto realiza movimientos de pronosupinación con lo cual se aprecia el desplazamiento de la cabeza del radio (Figura 9).



Figura 9

Puntos del Tronco

- ILIOESPINAL: Corresponde a la Espina ilíaca anterosuperior. Se localiza siguiendo la cresta ilíaca hacia delante hasta que se palpa un saliente al que sigue una depresión (figura 10). Para

confirmarlo se coloca al sujeto sentado y se le hace flexionar la rodilla y rotar hacia fuera el muslo (posición del sastre), acción propia del músculo sartorio, cuyo tendón se origina en este relieve y que al palparlo durante el movimiento nos señala claramente este punto.



Figura 10

- CRESTA ILIACA: Corresponde al punto más elevado de la cresta ilíaca que coincide con la línea axilar media.

Puntos de la Extremidad Inferior

- TIBIAL LATERAL: Tiene su localización en el punto más saliente del cóndilo tibial lateral, justo en el borde de la cavidad glenoidea o superficie articular de la meseta tibial (Figura 11).

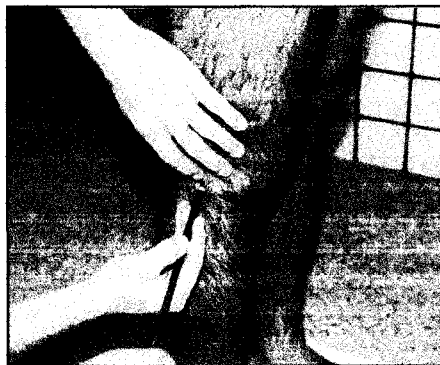


Figura 11

Para identificarlo se palpa el cóndilo femoral correspondiente y la cabeza del peroné, y se realiza una flexo-extensión de la rodilla estando de pie el individuo. Observamos como se moviliza la tibia mientras permanecen inmóviles el cóndilo lateral

femoral y la cabeza del peroné. El dedo explorador notará una depresión que corresponde a la línea interarticular de la rodilla.

3.4.2. PUNTOS DE REFERENCIA DERIVADOS DE LOS ANATÓMICOS

Con esta denominación se pretende significar una serie de puntos obtenidos a partir de los señalados por referencia ósea y que sirven fundamentalmente para llevar a cabo la medición de los pliegues cutáneos. Para su descripción seguiremos un orden en sentido craneocaudal.

- SUBESCAPULAR VERTICAL: Tomando como referencia el ángulo inferior de la escápula, se sitúa a dos traveses de dedo en dirección oblicua hacia abajo y afuera formando un ángulo de 45° con la horizontal (figura 12).

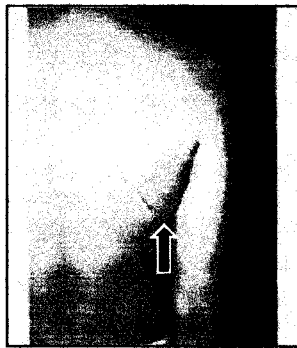


Figura 12

- ILIOCRESTAL: Se sitúa justo por encima de la cresta ilíaca y en la línea media axilar (Figura 13).



Figura 13

- SUPRAESPINAL: Localizado en la intersección formada por la línea del borde superior del ílion y una línea imaginaria que va desde la espina iliaca antero-superior hasta el borde axilar anterior (Figura 14).



Figura 14

- ABDOMINAL: Tomando como punto de referencia la cicatriz umbilical y una línea horizontal que pase por ella, el punto se sitúa en una línea longitudinal perpendicular a la anterior desplazada unos 5 cm hacia el lado derecho (Figura 15).

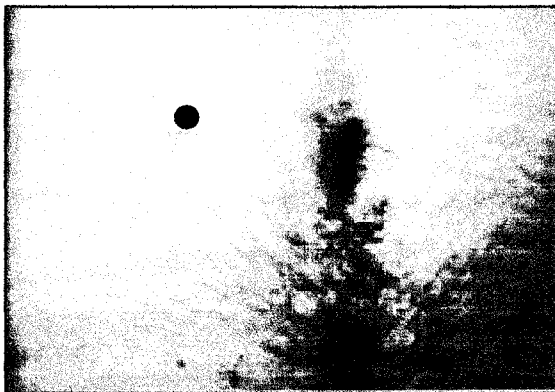


Figura 15

- TRICEPS: Mediante una cinta métrica se señala el punto medio de la distancia entre las marcas acromial y radial. Se desplaza esta señal en sentido dorsal hasta una línea imaginaria que representa el eje longitudinal del brazo en la línea media posterior (Figura 16).

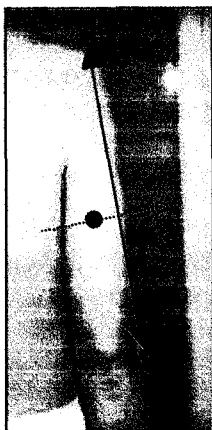


Figura 16

- BÍCEPS BRAQUIAL: Al igual que en el anterior, y a partir del punto medio de la distancia acromio-radial, el desplazamiento se realiza hacia la cara ventral del brazo, donde se cruza con la línea imaginaria del eje longitudinal ventral (Figura 17).

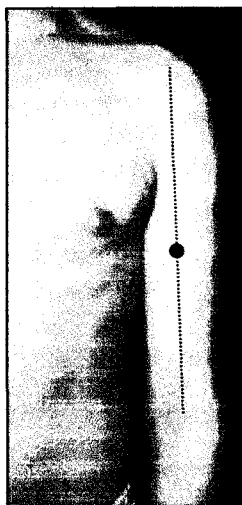


Figura 17

- ANTERIOR DE MUSLO: para señalar este punto el sujeto debe estar sentado o bien en bipedestación pero con el pie derecho apoyado en un banco o taburete de tal forma que muslo y pierna formen un ángulo recto. Primero se mide

la distancia entre el centro del pliegue inguinal y base de la rótula y se marca el punto medio (Figura 18).

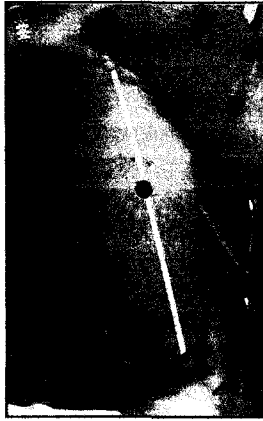


Figura 18

- PIERNA: El sujeto debe estar de pie, manteniéndose sobre la extremidad izquierda y apoyando el pie derecho en un cajón, silla o taburete, de tal forma que la pierna y el muslo formen un ángulo de 90 grados. Se busca en la cara interna de la pierna la zona más engrosada, donde el músculo soleo se hace más prominente (Figura 19).

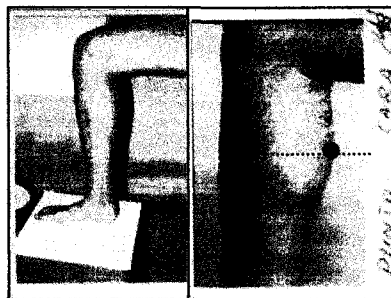


Figura 19

3.4.3. PLIEGUES CUTÁNEOS

El objetivo ha sido determinar los pliegues cutáneos precisos para la aplicación de la ecuación de regresión más conveniente en el cálculo del porcentaje graso corporal total.

La toma de estos pliegues tiene como objetivo medir una doble capa de piel junto al tejido subcutáneo, procurando evitar la inclusión de músculo. Se expresan en milímetros y con un decimal.

Se realiza bajo los condicionantes técnicos siguientes:

- a) Se medirán todos en el hemicuerpo derecho.
- b) El plicómetro suele manejarse con la mano derecha y la pinza se realiza con la mano izquierda, generalmente entre los dedos pulgar e índice.
- c) El sentido del pliegue debe respetar las líneas de tensión de Langer que existen en la piel.
- d) Debe formarse un pliegue mínimo pues se ha de tener en cuenta que el pliegue profundo puede pinzar el músculo aumentando el valor de la medición.
- e) La presión de los dedos sobre el pliegue cutáneo debe mantenerse durante la toma procurando que sea la justa para oponerse a la tendencia del pliegue a la posición de reposo.
- f) El plicómetro se situará a una distancia de los dedos equivalente al grosor del pliegue, colocándose en la base del mismo y no en su cresta
- g) Las mordazas del plicómetro deben situarse paralelas al pliegue y perpendiculares a la superficie del cuerpo.
- h) La lectura debe realizarse a los 2 ó 3 segundos de tomar el pliegue, pues, si se persiste en el pellizco se produce un descenso continuo de la aguja producido por la compresión y desplazamiento del tejido graso subcutáneo, obteniéndose una lectura errónea.

Pliegues del Tronco

- SUBESCAPULAR DIAGONAL: Con el individuo en pie y con la cintura escapular relajada, se toma el pliegue cutáneo en el punto subescapular. El pliegue debe orientarse unos 45 grados respecto a la horizontal. El lipómetro debe pinzar perpendicular al pliegue, 1 cm en sentido lateral de los dedos (Figura 20).



Figura 20

- ILIOCRESTAL: Localizado el punto de referencia se toma el pliegue por encima del mismo y siguiendo la línea axilar media. Este pliegue debe seguir una dirección oblicua hacia delante y de arriba abajo. El lipómetro debe aplicarse 1 cm por delante de los dedos (Figura 21).



Figura 21

- SUPRAESPINAL: Identificado el punto anatómico de referencia, se aplica el lipómetro perpendicular al pliegue a 1 cm de los dedos. La dirección del pliegue debe ser oblicua hacia adelante y abajo, a unos 45 grados por debajo de la horizontal (Figura 22).



Figura 22

- ABDOMINAL: Lateral al punto umbilical se determina en sentido craneocaudal bajo las mismas características de los anteriores (figura 23).



Figura 23

Pliegues de la Extremidad Superior

- TRÍCEPS BRAQUIAL: Con el sujeto relajado y las extremidades caídas a lo largo del cuerpo con las palmas de las manos en contacto con los muslos, se practica el pellizco aplicando el lipómetro 1 cm por debajo del punto de referencia y perpendicular al pliegue (Figura 24).

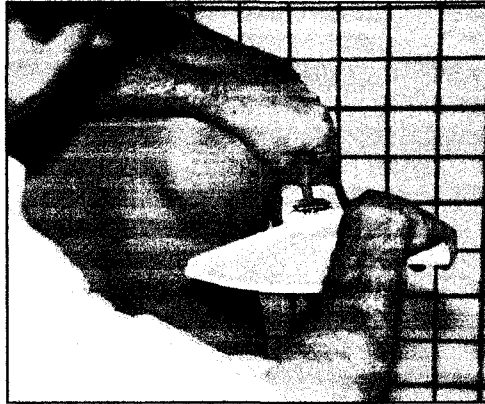


Figura 24

- BÍCEPS BRAQUIAL: Se produce el pliegue con los dedos donde está la marca y el lipómetro se aplica 1 cm por debajo y también perpendicular al mismo (Figura 25).



Figura 25

Pliegues de la Extremidad Inferior

- ANTERIOR DEL MUSLO: Se toma sobre el punto de referencia con el lipómetro perpendicular al mismo. Debido a la gran adhesión de la piel, tejido celular subcutáneo y masa muscular, es recomendable utilizar, a veces, la ayuda de un colaborador que mantenga el pliegue por encima y por debajo del lipómetro, o bien que el sujeto apoye el muslo sobre sus dos manos entrelazadas (figura 26).



Figura 26

- PIERNA: Se provoca el pliegue en sentido longitudinal sobre el punto de referencia derivado. El lipómetro debe aplicarse 1 cm por debajo del punto donde están los dedos y perpendicular al pliegue (Figura 27).

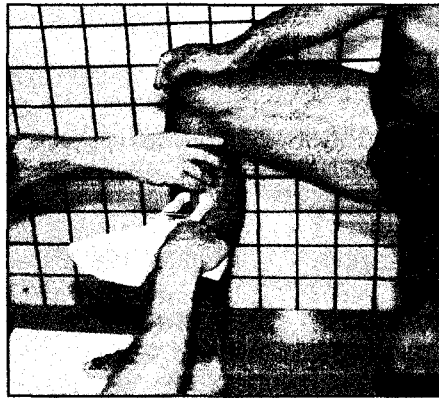


Figura 27

3.4.4. OBJETIVO MORFOLÓGICO

Determinar el peso magro (peso corporal libre de grasa). Para ello se calcula el peso graso utilizando la Ecuación de Yuhasz (1962) (ver anexo de Ecuaciones), que es la que presenta mejores niveles de correlación según se podrá observar en el apartado VALIDACIÓN DEL PORCENTAJE GRASO.

3.5. VALORACION FUNCIONAL

3.5.1. CONCEPTOS FÍSICOS

Se han basado en la determinación de la potencia como cociente entre trabajo y tiempo. Los conceptos físicos fundamentales de medición durante una prueba ergométrica citados por Ferrero y colab. (1989) son:

- a) Fuerza (F): Producto de la masa por la aceleración. Sus unidades son la dina, el gramo-fuerza y el kilo-fuerza. ($F = m \cdot a$).
- b) Trabajo (T): Producto de la fuerza por la distancia recorrida (d). Sus unidades son el ergio, el julio y el kilográmetro. ($T = F \cdot d$).
- c) Potencia (P): Cociente entre trabajo y tiempo (t). Sus unidades son el watio (w) y el Kgm/min^1 . Siendo 1 watio igual a $6 \text{ kgm}/\text{min}^{-1}$.

En los tests aplicados en cicloergómetro se calculó la potencia aplicando la ecuación básica anterior y considerando que la fuerza (F) ejercida sobre el pedal se midió por la resistencia (R) del mismo en K_p (Kilopondio o Kilogramo-fuerza) y que la distancia (d) se calculó mediante el producto de las revoluciones por minuto (RPM) por la distancia teórica de rotación (K), que es constante para cada tipo de cicloergómetro. Esta distancia es de 6 metros para la bicicleta de tipo Monark, quedando la fórmula

$$P = R \cdot K \cdot \text{RPM}$$

3.5.2. DESARROLLO DE LOS PROTOCOLOS

El objetivo de cada uno de ellos era conseguir el consumo máximo de oxígeno. Para ello se estandarizaron las pruebas bajo las siguientes premisas.

3.5.2.1. Condiciones metabólicas:

- No fueron sometidos a cargas de competición en la víspera del test.

- Los deportistas no realizaron comidas fuertes en las tres horas anteriores al test.
- Se les explicó el desarrollo de la prueba de esfuerzo.
- Se les mantuvo 10 minutos en reposo previamente al test.
- Todas las pruebas se realizaron por la mañana.
- El rango de temperatura se mantuvo entre 18 y 22 grados centígrados.
- La humedad relativa se mantuvo alrededor del 70 %.
- Todos los deportistas realizaron la prueba de esfuerzo con pantalón corto para una mejor regulación térmica.

3.5.2.2. Niveles de Esfuerzo:

- Se comprobó el correcto estado de salud de los sujetos mediante exploración física por aparatos y electrocardiograma de reposo.
- Todas las pruebas se iniciaron a 50 wátios de trabajo, pasando a incrementos de 50 wátios cada 2 minutos en las pruebas indirectas y de 25 wátios cada minuto para las directas.
- Se respetaron los criterios de esfuerzo submáximo en pruebas indirectas referentes a la frecuencia cardíaca. Así, para sujetos entre 10 y 20 años, la frecuencia cardíaca a alcanzar se situó entre 180 - 200 p/m; y para sujetos entre 20 y 30 años alrededor de 170 p/m o superiores.

3.5.2.3. Criterios de Calidad:

- Se mantuvo un margen de error en los parámetros tomados de ± 5 %.
- No se modificaron las características técnicas de los ergómetros.
- Se les indicó a los deportistas que mantuvieran las 50 r.p.m. ± 10 , y de esta manera poder afirmar la constancia en la magnitud y duración del esfuerzo.
- Utilizamos un sillín regulable en altura, de tal manera que permitiera en el deportista con la pierna extendida que, el pie que descansa sobre el pedal formara un ángulo de 90° a 120° con

relación a la pierna. Con el modelo de bicicleta utilizado, los sujetos con estatura menor de 135 cm no cumplían este requisito y por tanto fueron excluidos de la muestra.

3.5.2.4. Tipos de Tests

Tanto en pruebas indirectas (registro de la frecuencia cardíaca en relación con las cargas de trabajo) como directas (aporte de la determinación del consumo de oxígeno y eliminación de anhídrido carbónico), los ejercicios fueron progresivamente crecientes.

- Test Indirecto: Se calculó la potencia aeróbica máxima a partir de los valores de frecuencia cardíaca, pues existen estrechas relaciones entre ambos parámetros. Las ecuaciones de regresión para el consumo máximo de oxígeno a partir de la frecuencia cardíaca fueron las diseñadas por Astrand a partir de su nomograma para este tipo de pruebas:

Para sexo masculino: 50 w.; $6.07 - 0.0321 \cdot FC$
100 w.; $7.10 - 0.0616 \cdot FC$
150 w.; $9.74 - 0.0433 \cdot FC$
200 w.; $12.50 - 0.0545 \cdot FC$
 ≥ 250 w.; $13.70 - 0.0558 \cdot FC$

Para sexo femenino: 50 w.; $6.74 - 0.0353 \cdot FC$
75 w.; $7.12 - 0.0333 \cdot FC$
100 w.; $8.58 - 0.0399 \cdot FC$
125 w.; $10.23 - 0.0476 \cdot FC$
 ≥ 150 w.; $10.94 - 0.0493 \cdot FC$

Fueron aplicados los factores de corrección de Astrand y Ryhming para la edad y la frecuencia cardíaca:

EDAD	FACTOR
≤ 15	1.10
25	1.00
35	0.87
40	0.83
45	0.78
50	0.75
55	0.71
60	0.68
65	0.65

Como se puede observar los rangos de edades hacen referencia a la fase prepuberal-puberal, desde la pubertad hasta la plena madurez, desde ésta hasta la edad de mantenimiento de las cualidades físicas, y a partir de esta última.

FC MAXIMA	FACTOR
210	1.12
200	1.00
190	0.93
180	0.83
170	0.75
160	0.69
150	0.64

- Test Directo: Se consideró alcanzado el consumo máximo de oxígeno cuando el deportista finalizó la prueba por claudicación de piernas sin alcanzarse la estabilización del consumo de oxígeno, y se tuvo en cuenta la aparición de las siguientes condiciones:

- que la frecuencia cardíaca alcanzase el valor teórico máximo para la edad del sujeto, y
- que el cociente respiratorio fuese superior a 1.1

3.5.3. OBJETIVO FISIOLÓGICO

El contenido de este apartado es determinar el consumo máximo de oxígeno como signo de producción máxima de energía mediante procesos aeróbicos observando así la capacidad funcional circulatoria por su alta correlación entre el volumen cardíaco máximo y la potencia aeróbica máxima.

3.6 ANALISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los datos obtenidos de la muestra recogida, se han utilizado los siguientes índices que definen la distribución de los datos, aplicados a la estadística médica, que según Carrasco, su uso nos permite llegar a determinar las ecuaciones o leyes experimentales que rigen los fenómenos biológicos.

- **N**: Tamaño de la muestra.
- **m**: Media aritmética.
- **TR media**: Media excluyendo los valores extremos
- **M**: Mediana.
- **σ ó **sd****: Desviación estándar.
- **R**: Rango.
- **min**: Valor mínimo.
- **max**: Valor máximo.
- **V**: Varianza.
- **S_m**: Error estándar de la media.
- **S_{dp}**: Error estándar de la diferencia de porcentajes.
- **p < 0.01**: Intervalo de confianza.
- **LC**: Límites de confianza.
- **Σ** : Sumatorio.
- **r**. Coeficiente de correlación de Pearson.
- **Q₁**. Cuartil 1.
- **Q₂**. Cuartil 2.
- **Q₃**: Cuartil 3.
- **Δ** : Incremento.
- **\propto** : "Es proporcional a..."
- Distribución gráfica de nube de puntos con representación de su línea. En caso de

representaciones exponenciales ($y=a \cdot x^b$) se corresponde con la ecuación de Huxley.

3.7. ANALISIS INFORMÁTICO

Para manejar los datos utilizamos un equipo informático de marca Commodore - 486 (25C-1935), en el que realizamos las funciones siguientes una vez instalados los programas informáticos que se mencionan:

- BASE DE DATOS: Almacenados en DBase III Plus
- HOJA DE CÁLCULO: Lotus 123.
- CÁLCULO DE COMPOSICIÓN CORPORAL: Cyberkin.
- PROCESAMIENTO DE DATOS Y ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA: Minitab y Statgraphics.
- AJUSTE DE LAS NUBES DE PUNTOS: Tablecurve.
- PROCESAMIENTO DEL TEXTO: Microsoft Word

3.8. INSTRUMENTAL

3.8.1. BÁSCULA

Con precisión de hasta 0.01 kg. Sometida a calibración diaria por medio de una pesa de 1 kg. Marca SECA.

3.8.2. ESTADIÓMETRO

Escala fija con precisión de hasta 0.1 cm consistente en un plano en ángulo recto sobre una regla, adosada a la pared.

3.8.3. PLICÓMETRO (COMPÁS DE PLIEGUES CUTÁNEOS)

Medidor de pliegues grasos cutáneos con precisión de hasta 0.2 cm. Modelo HARPENDER. Se calibra mensualmente la presión de sus brazos ajustándose a 10 g./mm².

3.8.4. BICICLETA ERGOMÉTRICA

Modelo ERGOMETRICS 900 de freno magnético, con las siguientes características:

Unidad de carga:

Se acciona a través de pedales que tienen una longitud normal de 170 mm. Esta bicicleta ha sido pensada para individuos con talla comprendida entre 120 cm y 200 cm siendo posible la incorporación de un asiento para tallas de hasta 215 cm. Esta unidad trabaja independientemente del número de revoluciones en una zona entre 30 y 130 por minuto. Permite cargas desde 25 hasta 900 watios y trabaja en esta zona con una exactitud del $2 \% \pm 2$ watios del valor preestablecido.

Pantalla del computador:

Permite la introducción inicial de datos y la vigilancia de los mismos. Contiene:

- **PRG:** Número del programa utilizado, bien estándar o preestablecido.
- **GEW:** Peso del individuo en Kg.
- **S:** Sístole en mm/Hg.
- **D:** Diástole en mm/Hg.
- **Po:** Carga inicial en watios.
- **P:** Carga en watios durante la prueba.
- **P_{max}:** Carga máxima
- **INTERV.BDM:** Intervalo de medición de la tensión arterial en minutos.
- **t:** Tiempo de duración del programa de ergometría.
- **n:** Revoluciones por minuto durante la prueba.
- **BM:** medidor de tensión arterial.
- **PR:** Impresor.

3.8.5. ANALIZADOR DE GASES

Modelo OXYCON 4 (Mijnhardt, Holanda), que permite el análisis de los volúmenes y gases respiratorios. Utiliza un analizador de O₂ paramagnético y analizador de CO₂ de absorción infrarroja. Para la medición de volúmenes de gases espirados se utiliza un sistema abierto con cámara mezcladora y gasómetro para medición de volúmenes de gases. Presenta un nivel de precisión de medida de volúmenes y concentraciones del $\pm 2 \%$. Las condiciones de temperatura y presión barométrica ambientales (ATPS) en las que son medidos los gases, son corregidas de

forma automática por medio de un microprocesador incorporado al analizador, a una temperatura y presión de referencia que permite realizar comparaciones entre volúmenes respiratorios medidos en condiciones ambientales diferentes.

Las condiciones estándar (BTPS) para la ventilación (VE) son:

- Temperatura de 37°C.
- Presión barométrica de 760 mm Hg.
- Saturación total de vapor de agua del gas (100 %)

Las condiciones estándar para los volúmenes de los gases VO_2 y VCO_2 son (STPD):

- Temperatura de 37°C.
- Presión barométrica de 760 mm Hg.
- 0 % de saturación de vapor de agua del gas seco.

Las valoraciones funcionales se realizaron en el laboratorio de fisiología de esfuerzo, suficientemente ventilado, donde la temperatura ambiental se hallaba a 20°C ($\pm 2^\circ\text{C}$) con una humedad relativa ambiental entre el 40 % y 60 %. La presión atmosférica se mantuvo dentro de los rangos normales y era introducida en los microprocesadores del analizador de gases para la corrección BTPS/STPD antes de cada prueba.

Para la calibración del ergoespirómetro se utilizaba una jeringa (Marca Hans Rudolph, inc. (Modelo N° 5530) de 3 litros, para volúmenes, hasta alcanzar 200 l/min. y calibrando con una precisión de ± 1 .

El ajuste de los analizadores se efectuó mediante mezclas de gases especiales de calibración (Casa SEO) y con una precisión mínima de ± 0.24 % para el O_2 y de ± 0.10 % para el CO_2 y el N_2 . Los ceros fueron calibrados con N_2 al 100 %. Los valores superiores se calibraron mediante una mezcla de O_2 (12 %) y CO_2 (5 %).

Para el análisis de los gases, los sujetos respiraban a través de una máscara de dos válvulas unidireccionales (Rudolph, U.S.A.) que permitía un

flujo superior a 250 l/min. A través de un microprocesador que permite la transformación analógico-digital, el cálculo, la corrección y la presentación de los datos se realizó de forma automática cada 30 segundos.

3.8.6. CARDIOTACÓMETRO

Para la determinación de la frecuencia cardíaca del deportista se utilizó un cardiotacómetro con una media en el registro de la frecuencia cardíaca cada 15''.

3.8.7. ELECTROCARDIÓGRAFO

Marca HELLIGE, Multiscriptor EK 403 de tres canales.

3.8.8. FONENDOSCOPIO Y ESFIGMOMANÓMETRO

De marca Littman y Boss respectivamente.

4. VALIDACIÓN DEL PORCENTAJE GRASO

Para determinar el peso magro de los sujetos estudiados se hizo necesario el estudio de las metodologías más frecuentemente utilizadas en el cálculo del porcentaje graso, para posteriormente aplicarla a nuestra población con el mayor índice de fiabilidad posible.

Por este motivo, y tras permiso del autor, dispusimos de las mediciones de una muestra de 20 cadáveres estudiados en 1984 por A.D. Martin, profesor de la Universidad de British Columbia (Canadá), que dio como resultado su tesis doctoral "An Anatomical Basis for Assessing Human Body Composition: Evidence from 25 Dissections", a la que se han referido autores como Ross, Drinkwater y Clarys, quienes también la aplicaron a la predicción del porcentaje graso.

En sus cadáveres se determinaron las mediciones biotipológicas habituales, y se obtuvieron cinco componentes (piel, grasa, músculo, hueso y residual) del fraccionamiento corporal resultante de la disección.

Posteriormente sus resultados fueron sometidos por nosotros a análisis estadístico para, de este modo, aplicar "in vivo" la metodología más apropiada y por tanto la que suponga menor margen de error.

En nuestro estudio hemos realizado el mismo tipo de mediciones que las aplicadas en dichos cadáveres, y se tuvieron en cuenta: la estrategia de fraccionamiento en cinco componentes de Drinkwater (1986), y de Kerr (1988); las de cuatro componentes de De Rose (1984) y Guimaraes; y las del porcentaje graso desarrolladas por Yuhasz (1962), Durning (1974), así como la diseñada en el Centro de Alto Rendimiento-Sant Cugat (Barcelona) por González de Suso y colab.

Para toda la muestra los resultados de correlación entre la composición corporal de los cadáveres de Martin (1984) y las diferentes formulaciones obtenidas por nosotros fueron:

ESTRATEGIA	CORRELACIÓN (p < 0.01)
Yuhasz	0.89
Kerr	0.84
Drinkwater	0.83
CAR - Sant Cugat	0.79
Durning	0.78
De Rose	0.78

También llevamos a cabo los cálculos eliminando los datos de aquellos cadáveres que por los inconvenientes que pueden presentar en su mantenimiento presentaban un peso corporal total diferente al encontrado postdisección. Como se puede apreciar en la tabla siguiente, en todas las estrategias desciende el coeficiente de correlación, aunque la de Yuhasz permanece con mejor correlación y menor descenso. En este intento de buscar mayor exactitud en los resultados, los valores estadísticos fueron:

ESTRATEGIA	CORRELACIÓN (p < 0.01)
Yuhasz	0.83
Kerr	0.70
Durning	0.66
Drinkwater	0.64
CAR - Sant Cugat	0.57
De Rose	0.53

La conclusión de este estudio de validación nos orienta a utilizar las ecuaciones de Yuhasz para la determinación del porcentaje graso en la muestra del presente estudio.

Ecuaciones de Yuhasz

Para sexo masculino: **3.64 + (P · 0.097)**

Para sexo femenino: **4.56 + (P · 0.143)**

Donde P es el sumatorio de los pliegues cutáneos:
tríceps, subescapular vertical, suprailíaco,
abdominal, anterior del muslo y pierna.

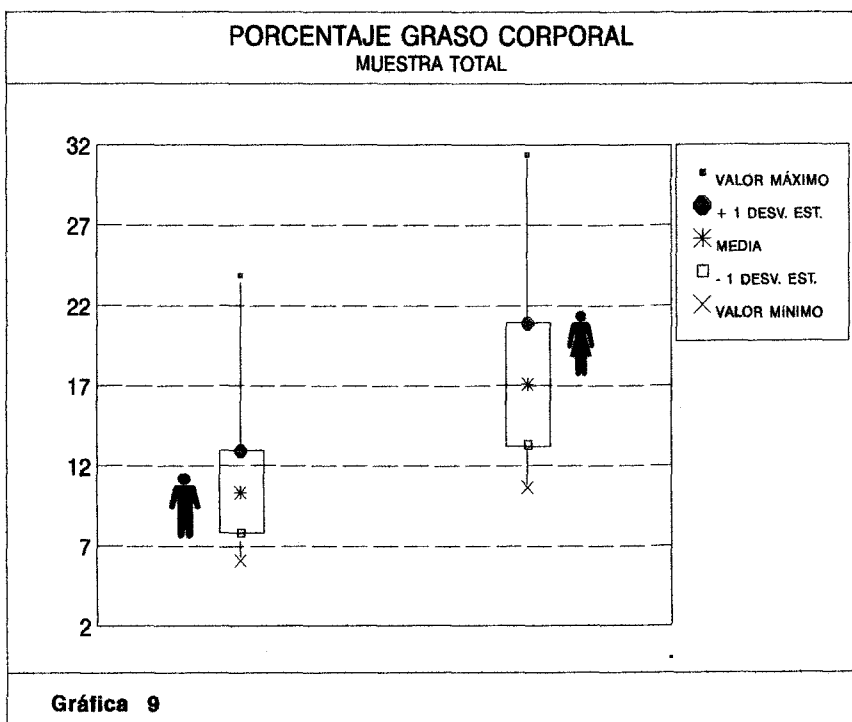
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PORCENTAJE GRASO

Debido a las características biológicas diferenciales se expresa el componente graso de forma separada para el sexo masculino y para el femenino, pues su media presenta diferencias significativas al $p < 0.01$.

PORCENTAJE GRASO		
SEXO	M	F
N	1850	882
MEDIA	9.96	16.23
MEDIANA	9.18	15.28
TR MEDIA	9.70	15.97
DESV. ESTÁNDAR	2.52	3.72
ERROR DE LA MEDIA	0.057	0.134
VALOR MÍNIMO	3.64	10.35
VALOR MÁXIMO	23.42	30.44
CUARTIL 1	8.24	13.59
CUARTIL 3	10.97	18.27
TABLA I		

En la tabla I se aprecia la descripción estadística del porcentaje graso, apreciándose mayor predominio en el sexo femenino, con diferencia estadísticamente significativa respecto al sexo masculino, como se observa en la gráfica 9 para la desviación superior e inferior de la media. La relación entre las varianzas ($F \leq 2.2$) hace referencia a la ya conocida influencia del sexo en el porcentaje graso del ser humano y por tanto debe tenerse en cuenta para un posterior baremo.



Como hemos podido apreciar en el apartado de VALIDACIÓN DEL PORCENTAJE GRASO, el mayor valor calculado para el coeficiente de correlación fue de 0.83, y éste correspondía a la estrategia de Yuhasz, que es la utilizada para los cálculos anteriores de la tabla I. En este sentido la composición corporal se ha incorporado a un amplio campo de trabajo tanto en la actividad física como en la medicina.

En nuestro caso la hemos tenido en cuenta para calcular el peso magro corporal, siendo éste el responsable más directo en la valoración del rendimiento físico bajo la forma del consumo máximo de oxígeno ($VO_2 \text{ max}$).

Parece evidente que la incidencia del peso como variable morfológica en el consumo de oxígeno del deportista, analizado dimensional y alométricamente, no debe hacer referencia a aquella fracción del peso, en forma de grasa, que se mantiene inerte

durante los procesos del metabolismo del consumo de oxígeno.

Hemos aportado (tabla II) los baremos de normalidad para el porcentaje graso corporal para que sirvan como base en la estrategia comparativa de los deportistas.

	M	F
25 %	↑ 10.97 - 23.42	↑ 18.27 - 30.44
50 %	8.24 - 10.97	13.59 - 18.27
25 %	↓ 8.24 - 3.64	↓ 13.59 - 10.35
TABLA II		

5.2. SUMA DE PLIEGUES

En el apartado anterior hemos utilizado el porcentaje graso por la metodología de Yuhasz como factor de corrección del peso con relación a una variable funcional como es el consumo de oxígeno. Sin embargo, si el interés es la valoración de la sobrecarga ponderal nula en forma de porcentaje graso global, debemos tener en cuenta una serie de objeciones que nos obligan a centrar nuestra atención sobre un valor más directo como es el pliegue graso, y en definitiva la suma de éstos, pues sabemos que absolutamente todas las metodologías parten de dicha suma para posteriormente aplicar diferentes ecuaciones de regresión.

Si queremos realizar la valoración morfológica de un deportista dejando al margen los aspectos funcionales aeróbicos, y más concretamente su composición corporal centrada en la fracción grasa, debemos asumir que el tejido adiposo corporal está distribuido en la capa subcutánea, grasa visceral, grasa circulante y formando parte de los orgánulos

celulares; y que el contenido de agua de la grasa, sea cual fuere su ubicación, es de proporciones variables.

La falta de ecuaciones de predicción estrictamente fiables se fundamenta en diferentes análisis teóricos:

a) Deberíamos conocer las proporciones relativas a los componentes del cuerpo: grasa, músculo, vísceras, fluidos, huesos y piel.

b) Tendríamos que asumir que las proporciones no varían en todos los individuos.

c) Deberíamos suponer que la densidad de los componentes es constante, y que cada uno de ellos es perfectamente delimitable.

d) La densidad corporal debiera expresarse con mayor exactitud, pues si comparamos diferencias de densidad entre 1.03 y 1.04, en un mismo sujeto, la extrapolación a fórmulas que determinen el porcentaje graso a través de la densidad corporal, nos darán valores grasos tan diferentes como 30.58 % (para la densidad de 1.3) y 25.96 % (para la densidad de 1.4).

e) Existen ecuaciones ampliamente extendidas, como por ejemplo la de Siri (1961), que no pueden usarse en personas en crecimiento, y por tanto no resulta práctico en el ámbito de la medicina del deporte.

Analizando los parámetros morfo-funcionales de un deportista estamos acostumbrados a tomar las referencias que nos indican una mejor o peor valoración, tanto a nivel comparativo, como con relación a otros sujetos. Así pues estamos de acuerdo en que un consumo de oxígeno de 70 ml/kg/min⁻¹ puede ser considerado excelente según la especialidad deportiva, que la longitud de extremidades inferiores es muy buena si supera el 60 % de la talla total, o que la tensión arterial y máximo esfuerzo no deben superar el valor de 250 mm/hg dependiendo de la edad. Sin embargo un porcentaje graso de 21.0 nos puede parecer elevado

por la metodología de Faulkner y correcto por la de Drinkwater.

Así pues, parece lógico que si pretendemos exclusivamente valorar la adiposidad de un individuo, será más funcional si lo realizamos mediante la suma de sus pliegues grasos, también diferenciados por sexo debido a la significancia ($p < 0.01$) de la diferencia de medias (Tabla III).

SUMATORIO	DE PLIEGUES	
	M	F
SEXO		
N	1850	882
MEDIA	65.29	70.01
MEDIANA	57.36	58.70
TR MEDIA	62.60	66.73
DES. ESTÁNDAR	26.03	30.92
ERROR MEDIA	0.588	1.110
VALOR MÍNIMO	25.51	33.60
VALOR MÁXIMO	204.0	204.0
CUARTIL 1	47.51	48.15
CUARTIL 3	75.63	83.20

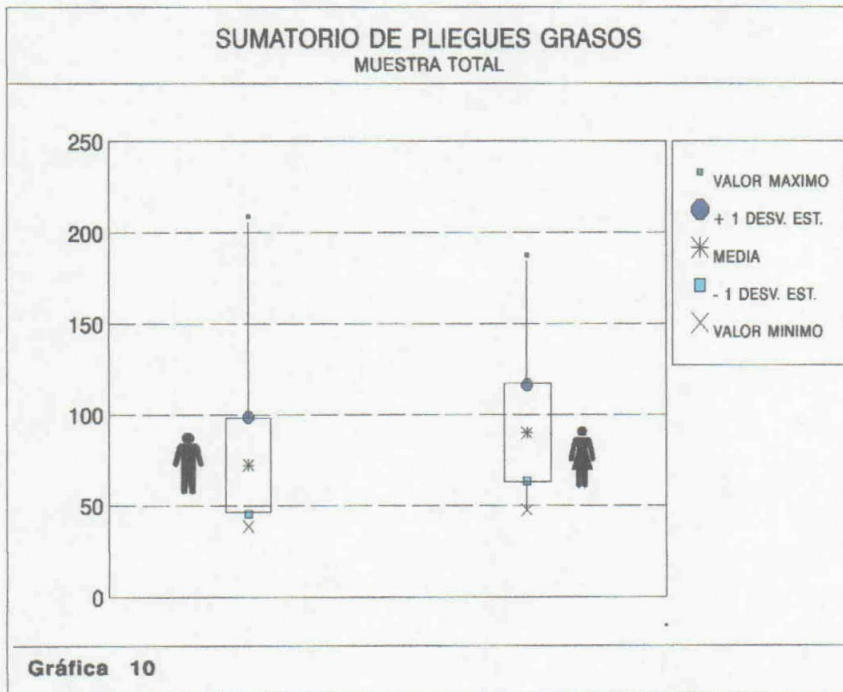
Tabla III

En ésta aparecen unos valores unisexuales, pues estadísticamente ($F = 1$) y para nuestra muestra de población, el sexo no influye en el conjunto total del sumatorio de las mediciones (Gráfica 10).

Con los resultados de nuestra muestra (Tabla III) hemos desarrollado el baremo de la tabla IV para la suma de pliegues grasos como índice de adiposidad.

	M	F
25 %	↑ 75.63 - 204	↑ 83.20 - 204
50 %	47.51 - 75.63	48.15 - 83.20
25 %	↓ 47.51 - 25.51	↓ 48.15 - 33.60

Tabla IV



5.3. PESO CORPORAL TOTAL Y PESO MAGRO

De todas las mediciones analizadas hemos escogido solamente el peso en atención a los resultados obtenidos por diversos autores (Gabbard, y Patterson, 1980) sobre las cualidades predictivas de la talla, peso y pliegues grasos, con relación a la fuerza y cuyas conclusiones afirman que el peso corporal es el mayor condicionante del rendimiento muscular.

También Cole (1986) se adhiere a esta opinión cuando refleja la incidencia del tamaño corporal (Talla y Peso) en las funciones biológicas, afirmando que la talla nos permite obtener menos información que el peso, debido a que su coeficiente de variación es menor.

En la tabla V se observa la descripción estadística de los valores obtenidos en ambas muestras. En la muestra directa se aprecia un discreto desplazamiento hacia valores más altos de peso total, debido esto a que los sujetos de mejor nivel deportivo fueron los valorados mediante la determinación ergogasmétrica directa, y presumiblemente éstos tienden a ser los de mayor edad y por consiguiente los de mayor peso.

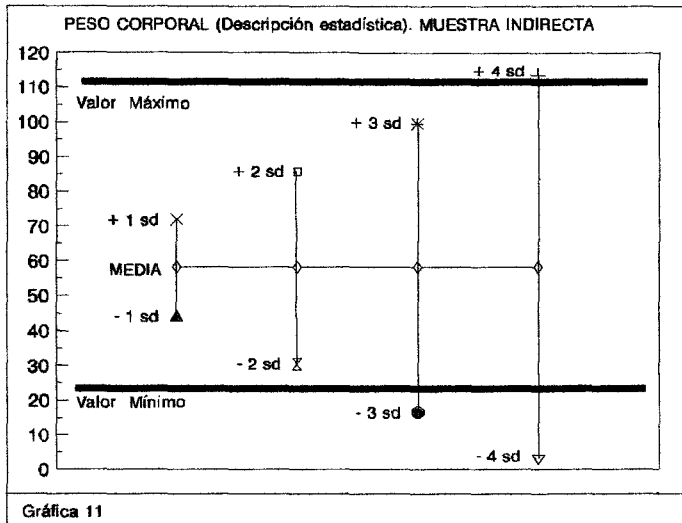
	MUESTRA INDIRECTA		MUESTRA DIRECTA	
	PESO TOTAL	PESO MAGRO	PESO TOTAL	PESO MAGRO
MÍNIMO	24.3	21.7	37.9	35.1
MÁXIMO	113.0	91.11	122.0	105.8
RANGO	88.7	69.3	84.1	70.7
MEDIA	58.09	51.34	66.63	58.75
σ	13.82	12.21	13.74	11.90
MEDIANA	57.60	49.95	64.70	57.77

Tabla V

Sin embargo la similitud del rango estadístico y de la desviación típica, así como la amplitud entre los valores máximos y mínimos, nos indican una suficiente variación del peso en ambas muestras, cumpliendo así el principal requisito para el cálculo dimensional con relación al consumo de oxígeno: poseer una muestra que comprenda pesos pequeños y grandes. En la gráfica 11 presentamos los valores que nos demuestran la amplia

variabilidad biológica del peso cuando expresamos la media con diferentes desviaciones estándar; en este caso ponemos como ejemplo la muestra indirecta.

5.4. CONSUMO DE OXÍGENO DIRECTO E INDIRECTO



Gráfica 11

El VO_2 máx. nos indica la capacidad de captación de oxígeno que tiene una persona. En nuestro caso corresponde al determinado en máximo esfuerzo previo a la claudicación en la prueba. De esta manera traduce la eficacia de los sistemas biológicos de adaptación al ejercicio aeróbico (Barbany, 1983).

Según Mishchenko (1995) son muchos los investigadores que consideran que el consumo máximo de oxígeno es el reflejo universal de las posibilidades funcionales del organismo humano, por cuanto que su magnitud se correlaciona en forma directa no sólo con la resistencia a las cargas físicas, sino también con situaciones extremas que requieren un equilibrio de los sistemas homeostáticos.

Los valores encontrados en nuestras muestras se representan en las tablas VI y VII.

SEXO MASCULINO	MUESTRA	MUESTRA
	INDIRECTA	DIRECTA
MÍNIMO	700	1750
MÁXIMO	7500	4980
RANGO	6800	3230
MEDIA	3282.89	3364.95
σ	1287.46	680.5
MEDIANA	3000	3340

Tabla VI

SEXO FEMENINO	MUESTRA	MUESTRA
	INDIRECTA	DIRECTA
MÍNIMO	1000	1360
MÁXIMO	4600	4694
RANGO	4500	3334
MEDIA	2018.73	2302.84
σ	588.18	538.94
MEDIANA	1900	2270

Tabla VII

Nuestro objetivo no ha sido determinar la capacidad funcional máxima del deportista en forma de consumo máximo de oxígeno, pues existen innumerables estudios en la literatura orientados en este sentido. Por tanto, no hemos pretendido calcular este parámetro ventilatorio hasta el máximo nivel de potencia teórica del deportista, allí donde el consumo máximo de oxígeno ya no se incrementa ni siquiera cuando se eleva la potencia de carga, sino valorar el parámetro real (no extrapolado a la frecuencia cardíaca máxima teórica) en las pruebas de esfuerzo hasta la claudicación de la musculatura de las extremidades inferiores, para añadir a los factores de los que depende su magnitud (genética, masa muscular en

movimiento, edad, etc.) aquel que hace referencia a la influencia de las dimensiones del cuerpo en la valoración del consumo máximo de oxígeno en deportistas.

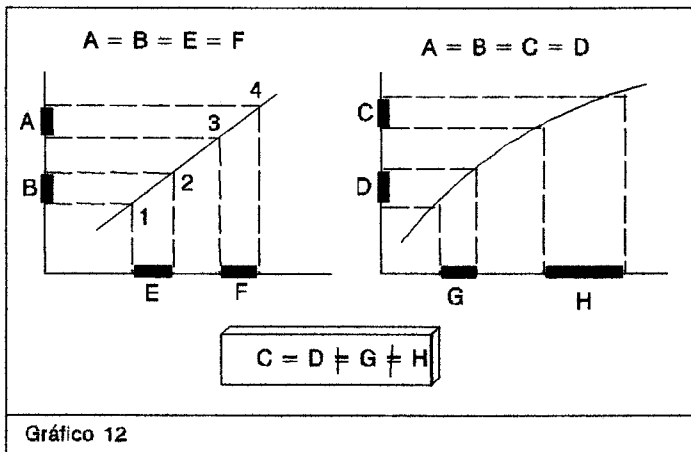
No hemos creído aconsejable representar el consumo máximo de oxígeno en forma de VO_2/Peso ($\text{ml}/\text{kg}/\text{min}^{-1}$) pues supone, teóricamente, aceptar que utilizamos un modelo de relación lineal entre el VO_2 max. y el Peso. Si comparamos las diferencias entre dos sujetos de distinto peso estaremos afirmando que un Δpeso se acompaña de un ΔVO_2 constante (b') con independencia del valor del peso, es decir:

$$\begin{aligned} \Delta VO_2 \text{ max.} &= VO_2 \text{ max}_2 - VO_2 \text{ max}_1 = (a' + b' \cdot \text{peso}_2) - (a' + b' \cdot \text{peso}_1) \\ &= (b' \cdot \text{peso}_2) - (b' \cdot \text{peso}_1) \\ &= b' \cdot (\text{peso}_2 - \text{peso}_1) \\ &= b' \cdot \Delta \text{peso} \end{aligned}$$

$$\Delta VO_2 \text{ max.} = b' \cdot \Delta \text{peso}$$

$$b' = \frac{\Delta VO_2 \text{ max.}}{\Delta \text{peso}}, \text{ y por tanto } b' \text{ sería una constante.}$$

Si comparamos en la gráfica 12 las diferencias entre los puntos 1-2 por un lado y 3-4 por otro, también dependerán de la constante b' , sin embargo cuando, como sabemos, no es una representación lineal, b' no será una constante, porque el mismo cambio no supone un cambio de VO_2 max. constante e igual.



5.5. REPRESENTACIÓN POR FRECUENCIAS

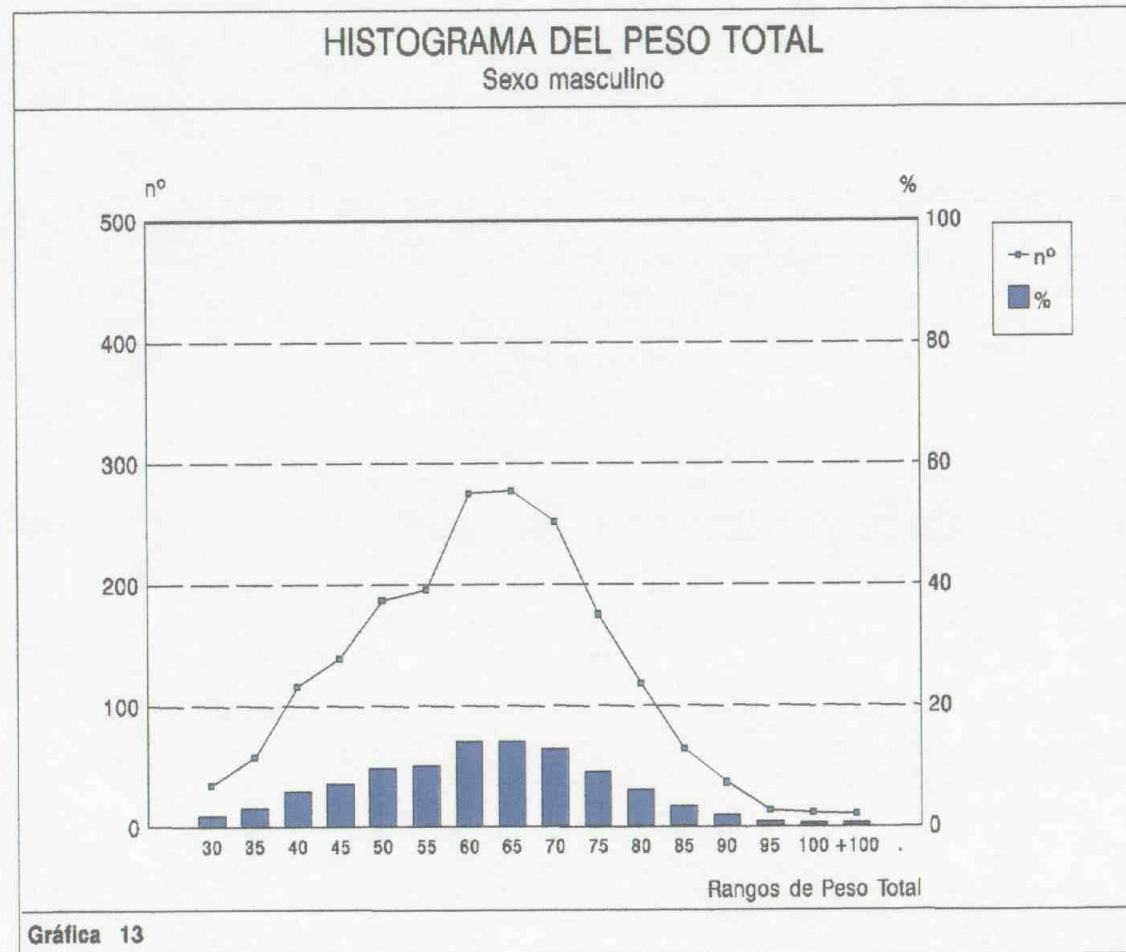
En las gráficas siguientes (13 a 16) se puede observar la distribución de frecuencias de peso y del consumo de oxígeno.

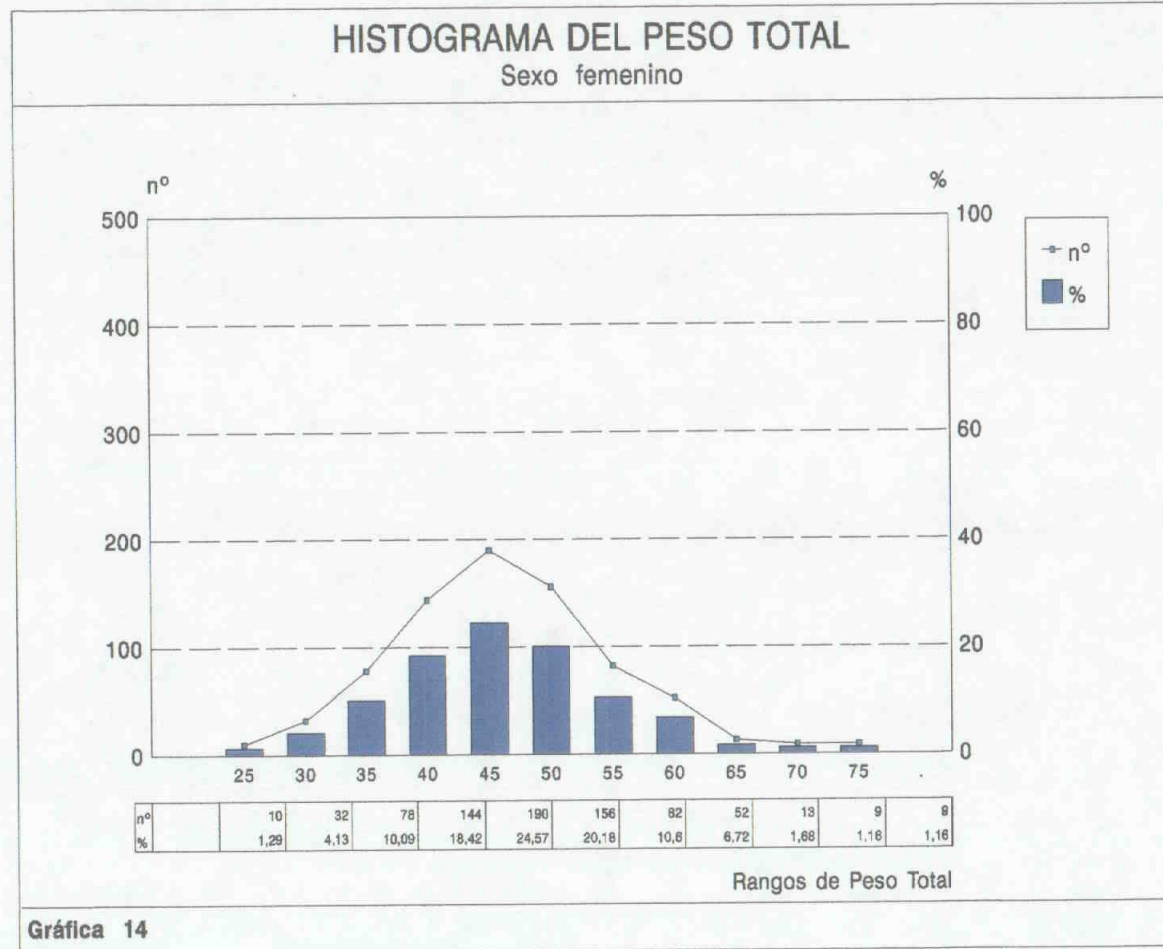
En la gráfica 13 se observa que la distribución del peso corporal total para el sexo masculino es casi asimétrica. Igual deducción se expresa en la gráfica 14 para el sexo femenino.

Las gráficas 15 y 16 representan la frecuencia del consumo de oxígeno y su comparación entre los dos tests fisiológicos realizados. En la gráfica 15, para el sexo masculino, se observa que en los test realizados con análisis directo de gases la mayoría de los deportistas presentaban valores entre 2500 y 4000 ml/O₂, mientras que los examinados con test indirectos ampliaban los rangos entre 1500 y 5000 ml/O₂.

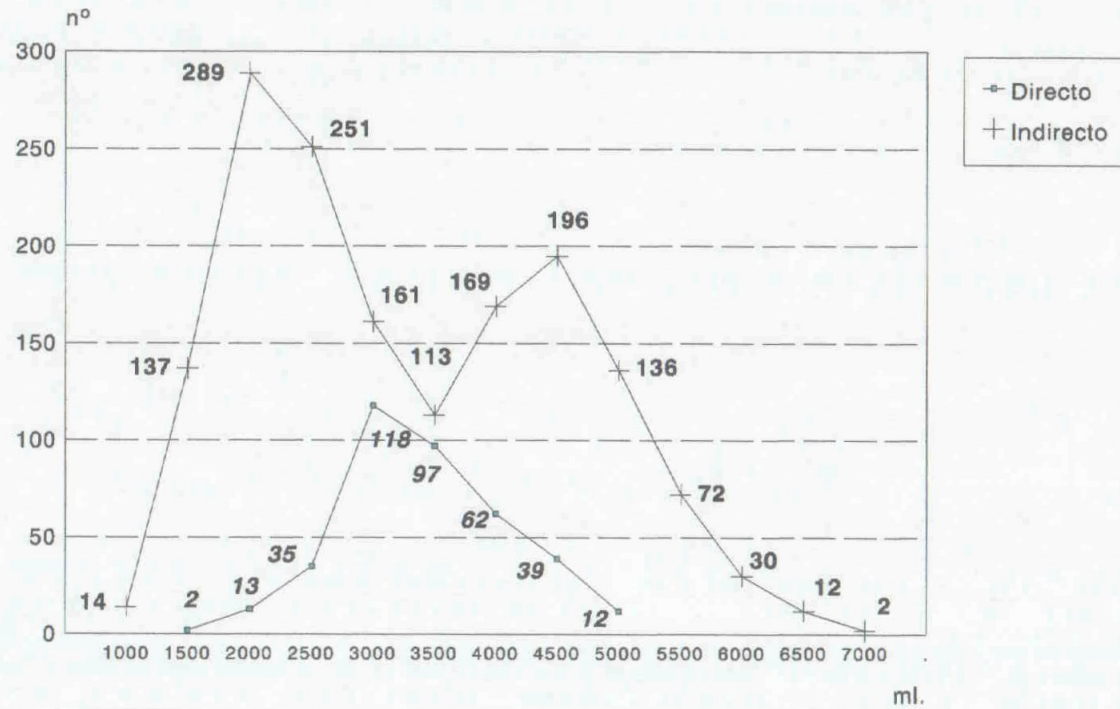
En la gráfica 16, para el sexo femenino, se observa para el test directo un rango entre 2500 y 3000 ml/O₂, y para indirecto entre 1500 y 3000 ml/O₂. En el cuadro siguiente se puede apreciar el comportamiento comparativo.

RANGOS		
	Directo	Indirecto
M	2500 - 4500	1500 - 5000
F	2500 - 3000	1500 - 2500



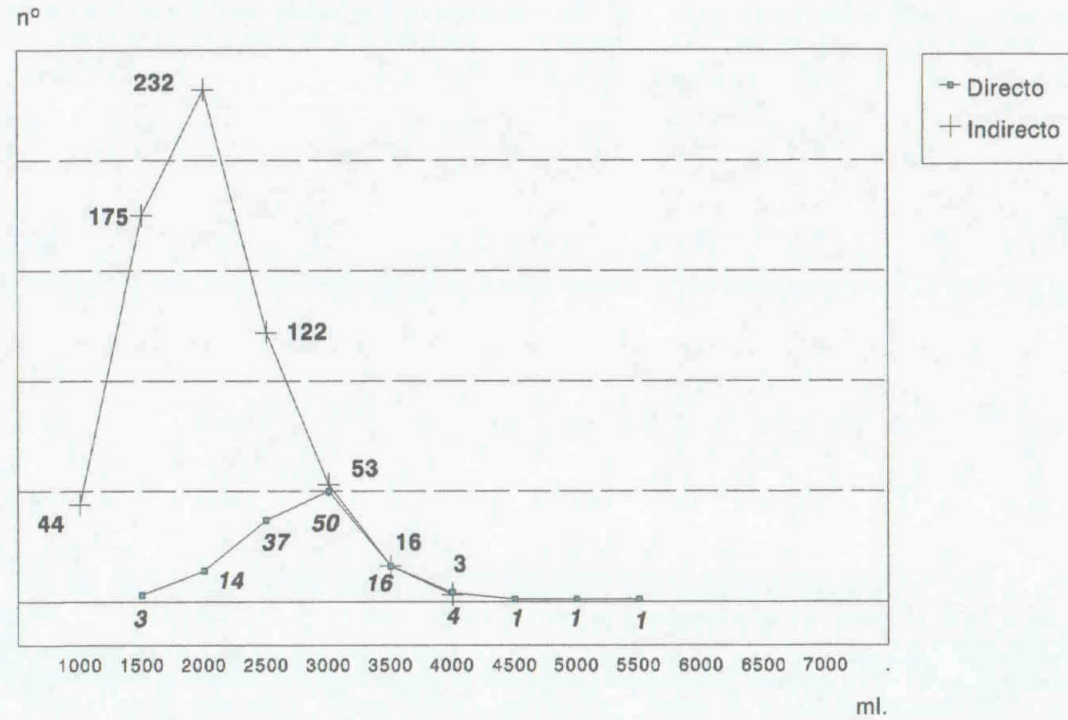


FRECUENCIA DE LOS VALORES DE VO_2 max. Sexo masculino



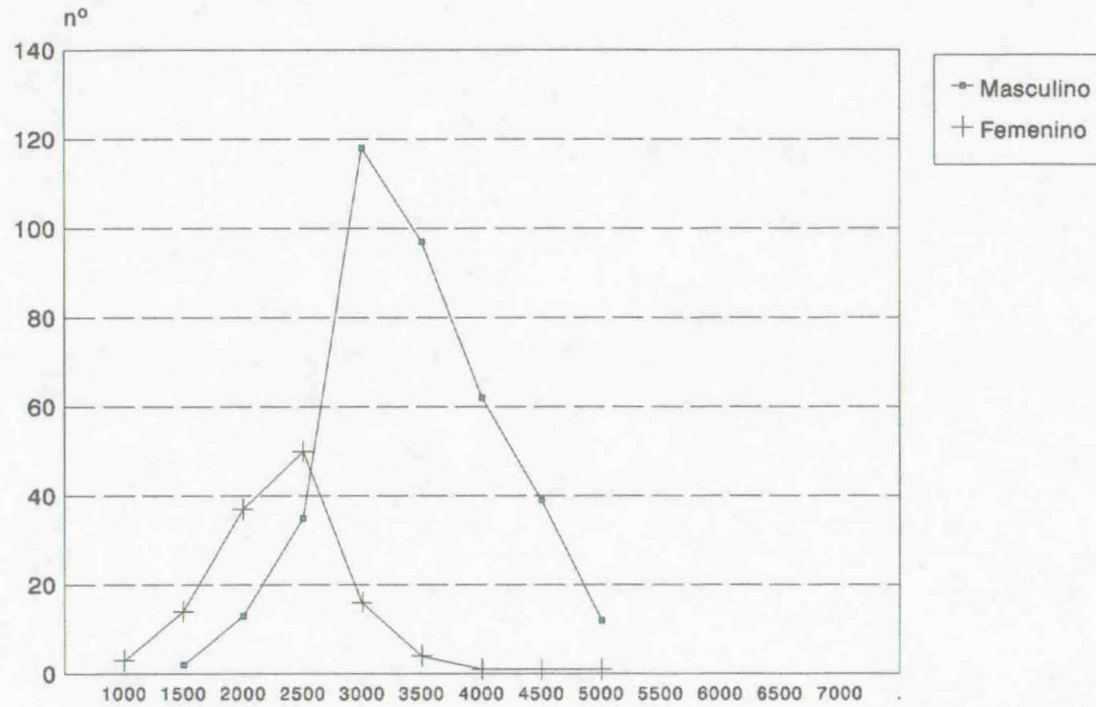
Gráfica 15

FRECUENCIA DE LOS VALORES DE VO₂ max. Sexo femenino



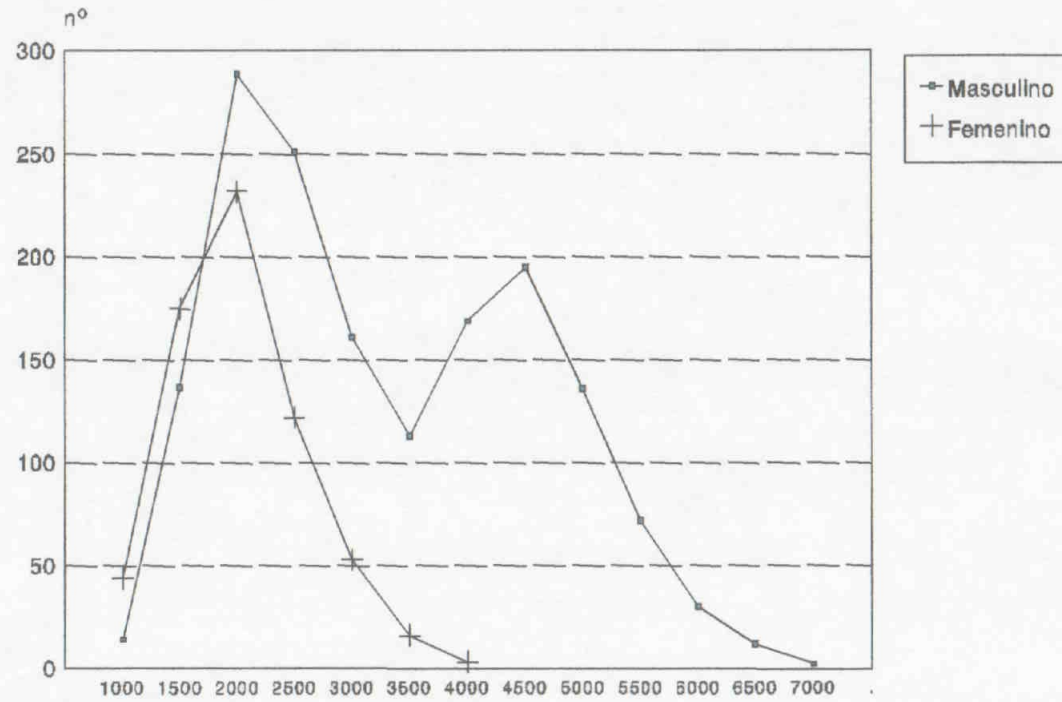
Gráfica 16

COMPARACION DE LOS VALORES DE VO_2 max. Test Directo



Gráfica 17

COMPARACION DE LOS VALORES DE VO_2 max. Test Indirecto



Gráfica 18

En las gráficas 17 y 18 hemos expresado la frecuencia de presentación del consumo de oxígeno con relación al sexo. La gráfica 18 hace en referencia al test directo y la gráfica 19 al test indirecto.

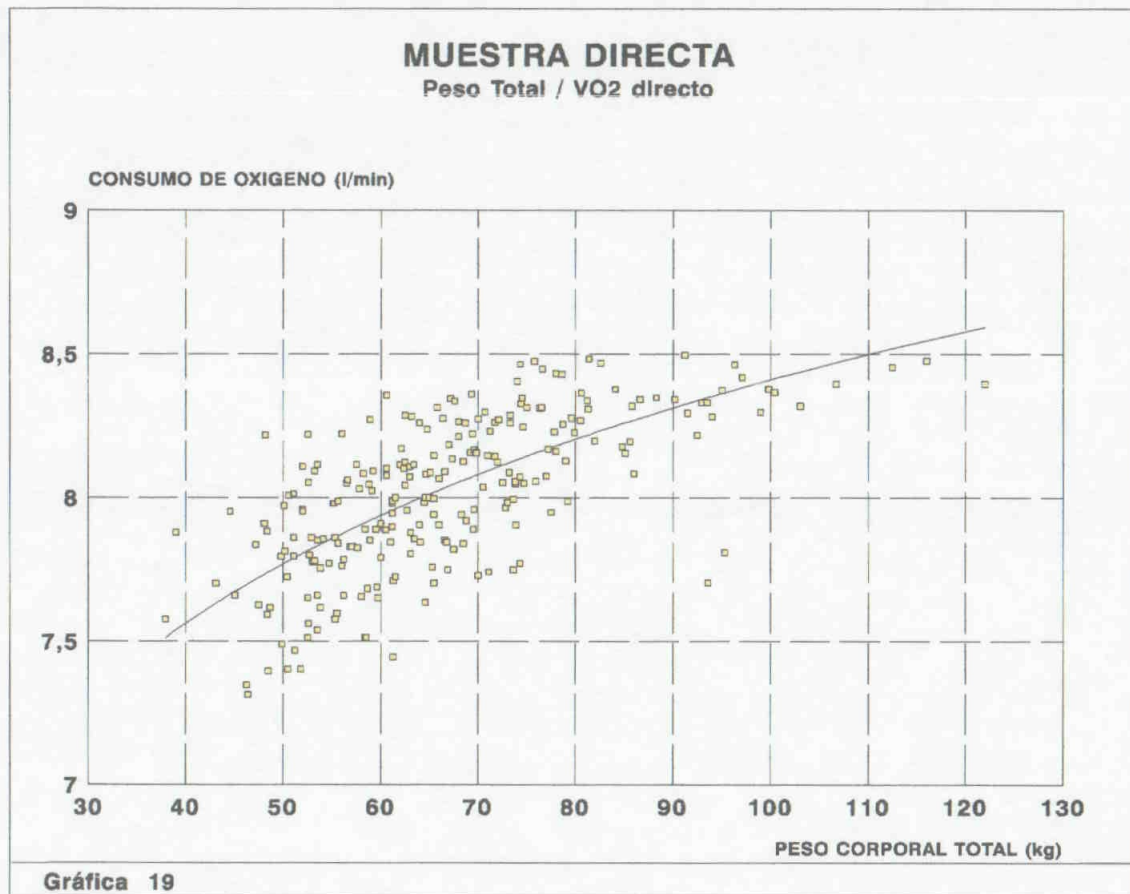
Los rangos son los observados en la tabla anterior, pero se observa con más claridad la mayor frecuencia de valores superiores para el sexo masculino.

5.6. RELACIÓN PESO - CONSUMO DE OXÍGENO

En los gráficos siguientes se pueden observar las nubes de puntos correspondientes a la relación entre el peso corporal total y peso magro, con el consumo de oxígeno, calculado directa e indirectamente (Gráficas 19, 20, 21 y 22).

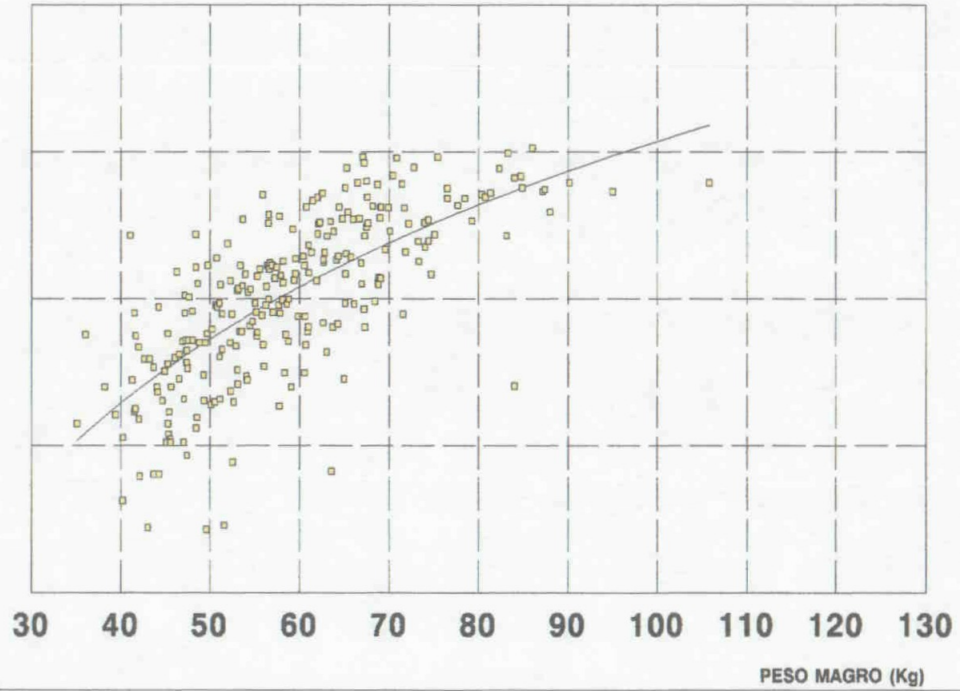
Los resultados de las ecuaciones se obtuvieron por regresión lineal aplicada a los datos transformados logarítmicamente.

La aproximación dimensional alométrica se realizó ajustando la ecuación de Huxley ($y = a \cdot x^b$ / $VO_2 = a \cdot \text{Peso}^b$) a las diferentes nubes de puntos.

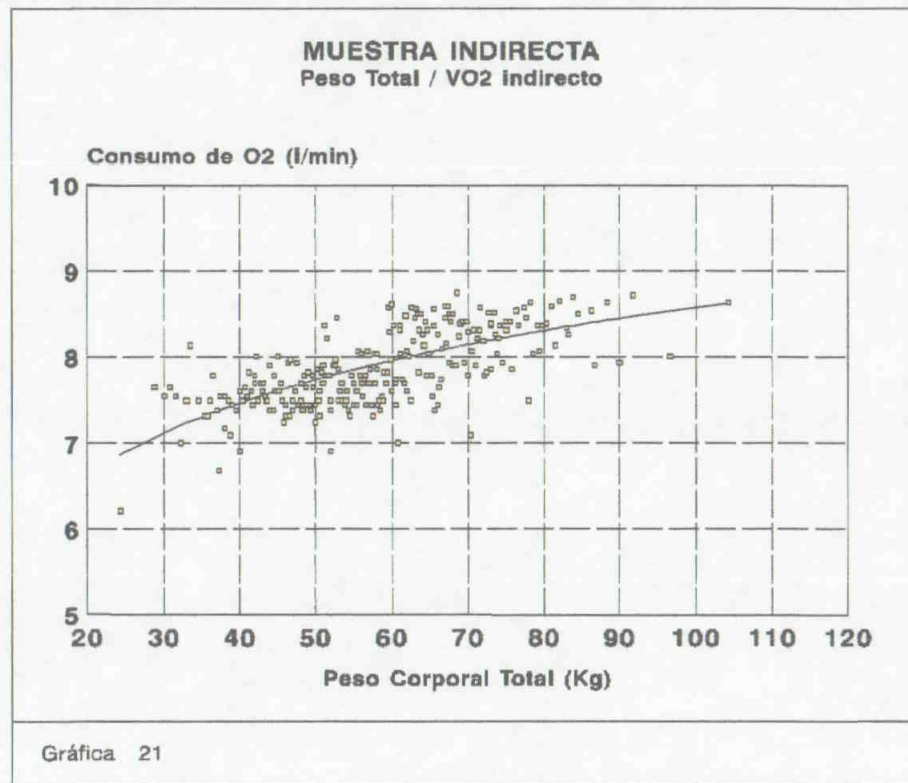


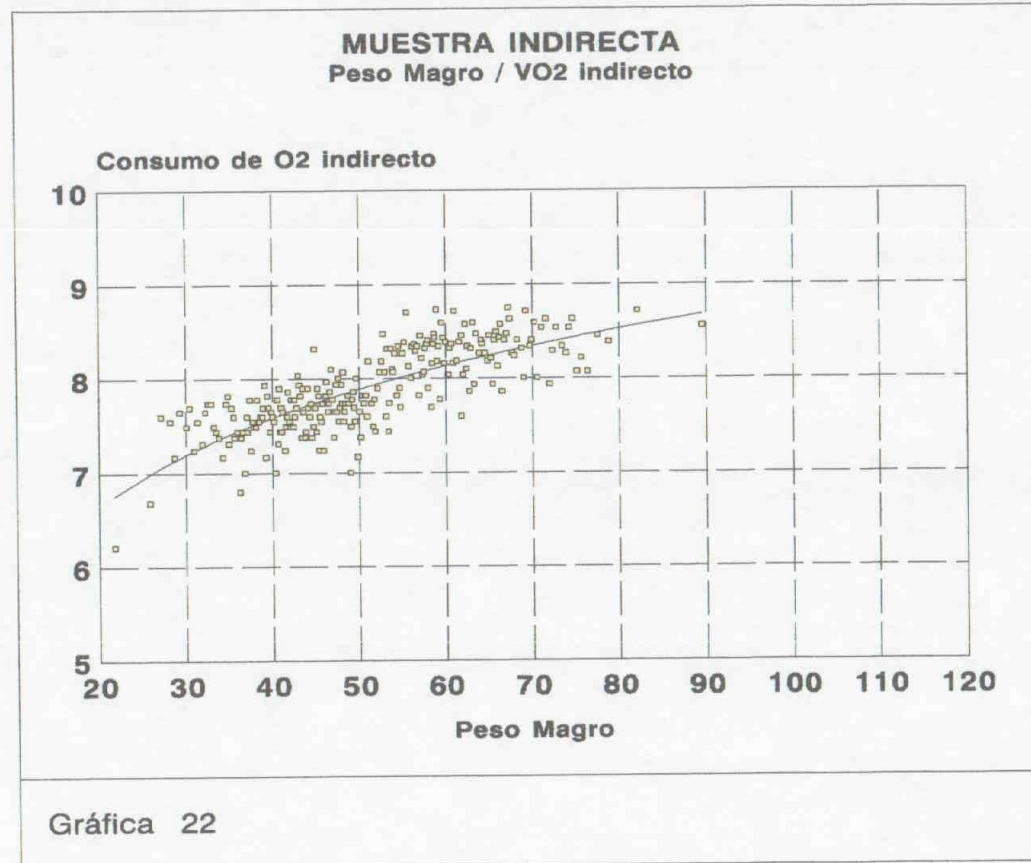
MUESTRA DIRECTA
Peso Magro / VO2 directo

CONSUMO DE O2 DIRECTO



Gráfica 20





5.6.1. **Peso corporal total / Consumo de O₂ directo**

En esta relación (Gráfica 19) se aprecia una tendencia a situarse los puntos por debajo de la línea que representa la ecuación de regresión a partir de 85 kg., lo cual confirma las observaciones hechas durante la práctica diaria de pruebas de esfuerzo y es que los individuos de mayor peso se encuentran penalizados debido a su volumen corporal. La ecuación dimensional que responde a la representación de esta relación es:

$$y = 63.1 \cdot x^{0.92}$$

5.6.2. **Peso corporal magro / Consumo de O₂ directo**

La tendencia de penalización en los individuos de mayor peso tiende a desaparecer cuando el consumo de oxígeno se relaciona con el peso magro (Gráfica 20) y por consiguiente responsabiliza en mayor grado al componente graso del supuesto declive fisiológico de los deportistas de mayor peso. La ecuación dimensional que responde a la representación de esta relación es:

$$y = 57.6 \cdot x^{0.97}$$

5.6.3. **Peso corporal total / Consumo de O₂ indirecto**

Como se aprecia en la gráfica 21, la nube de puntos a partir de 60 kg. tampoco sigue una representación lineal, aunque inversa en los casos anteriores, lo que justifica un exponente dimensional superior a la unidad (1.21). La ecuación dimensional que responde a la representación de esta relación es:

$$y = 19.8 \cdot x^{1.21}$$

5.6.4. **Peso magro corporal / Consumo de O₂ indirecto**

La utilización de un peso libre de grasa representa la nube de puntos aún con un valor más exponencial (1.35) (gráfica 22). Este hallazgo nos hace pensar que la determinación del consumo de oxígeno mediante método indirecto incrementa sus resultados. La ecuación dimensional que responde a la representación de esta relación es:

$$y = 13.3 \cdot x^{1.35}$$

Los exponentes dimensionales de las cuatro ecuaciones (0.92, 0.97, 1.21, 1.35) se asemejan con algunos encontrados por diferentes autores para diversas variables fisiológicas: 1.28 para la fuerza manual en levantadores olímpicos (Ross y Corlett, 1980), 0.95 para el consumo de oxígeno en niños (Ross y Marshall, 1974), 0.99 para el pulso de oxígeno - o cociente consumo/frecuencia cardíaca - (Astrand y Rodahl, 1985). Así como para otras variables morfológicas en mamíferos: 0.92 para el tamaño del tiroides (Brody, 1945), 0.94 para el tamaño del corazón (Stahl, 1967) y 1.09 para el peso óseo (Prange, 1979).

Un valor del exponente dimensional "b" inferior a la unidad indica que cuando las pruebas se realizan mediante analizadores de gases, el incremento del consumo de oxígeno es más lento que lo que le correspondería por el aumento de peso. Mientras que los resultados por la determinación indirecta del consumo de oxígeno indican un mayor desarrollo del mismo con relación a los incrementos del peso corporal, lo que indica que el consumo de oxígeno calculado de forma indirecta tiene una tendencia a magnificar los resultados conforme aumenta el peso.

5.7. DISMORFISMO SEXUAL

Hasta este punto se ha cuantificado la relación dimensional entre el peso (total y magro) y el consumo de oxígeno (directo e indirecto), de una forma agrupada, sin diferenciar por sexos. Al repetir el análisis considerando cada sexo por separado, los resultados son:

PESO TOTAL /	VO ₂ max. DIRECTO
0.92	0.69 M
	0.62 F
PESO MAGRO /	VO ₂ max. DIRECTO
0.97	0.74 M
	0.66 F

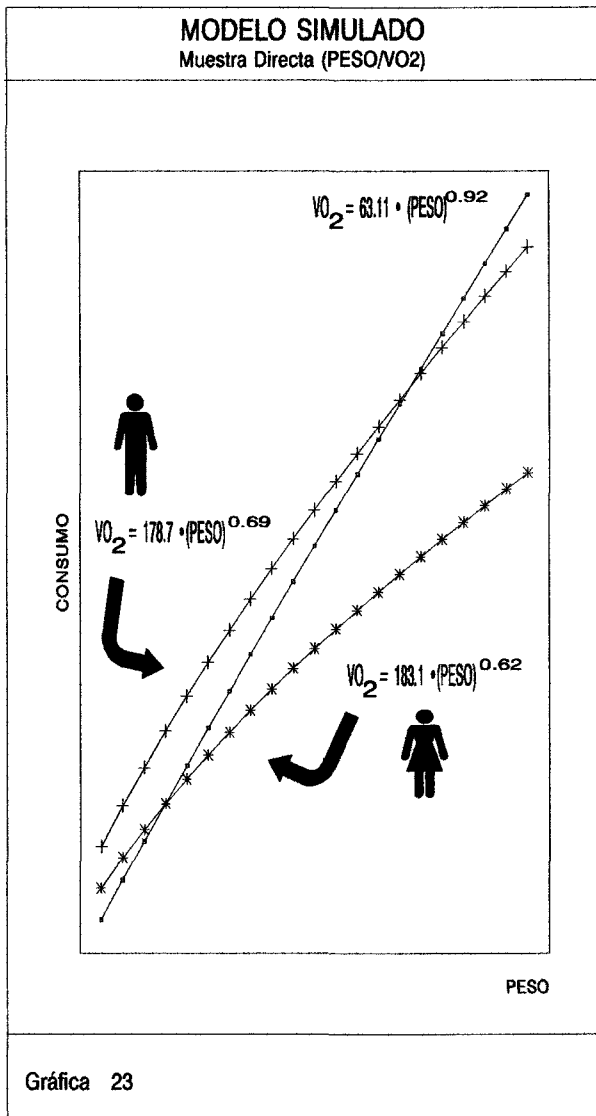
Y en la muestra donde el consumo de oxígeno se determinó indirectamente, el sexo masculino es el responsable de la tendencia del exponente global.

PESO TOTAL /	CONSUMO INDIRECTO
1.21	1.15 M
	0.76 F
PESO MAGRO /	CONSUMO INDIRECTO
1.35	1.26 M
	0.97 F

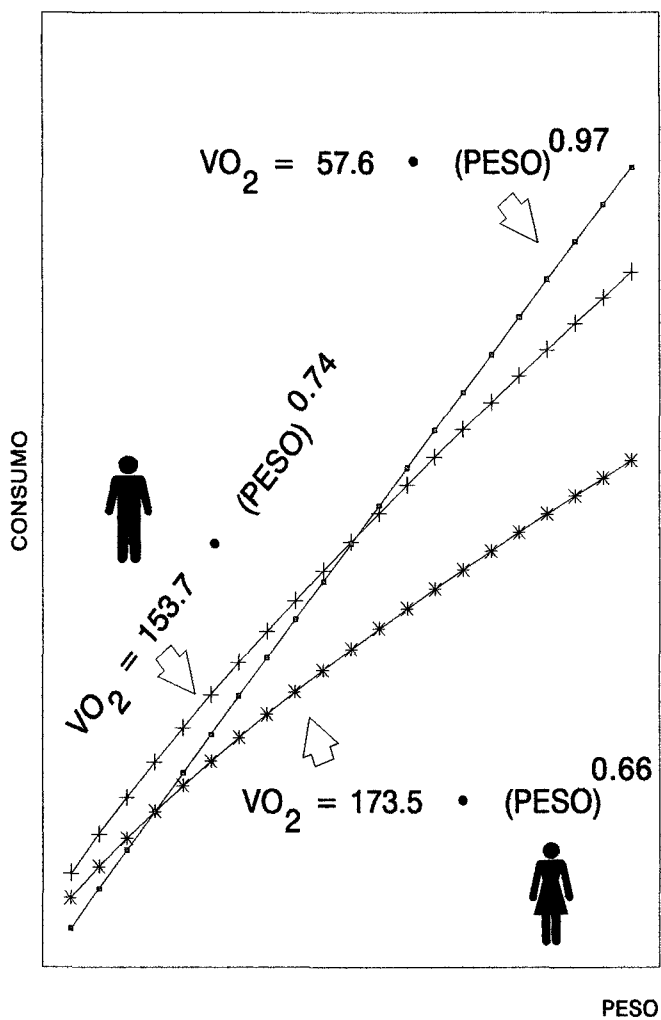
El análisis del dimorfismo sexual para el consumo de oxígeno nos indica también que dimensionalmente su incremento es menor en la mujer para todas las ecuaciones calculadas, y que incluso para los tests indirectos siguen siendo inferiores a la unidad.

En las gráficas 23, 24, 25 y 26, hemos representado cada una de las ecuaciones, para observar el efecto del sexo en la estimación de "b".

La simulación gráfica en forma de línea de regresión de los modelos calculados anteriormente incluye también su agrupamiento sin diferenciación de sexos



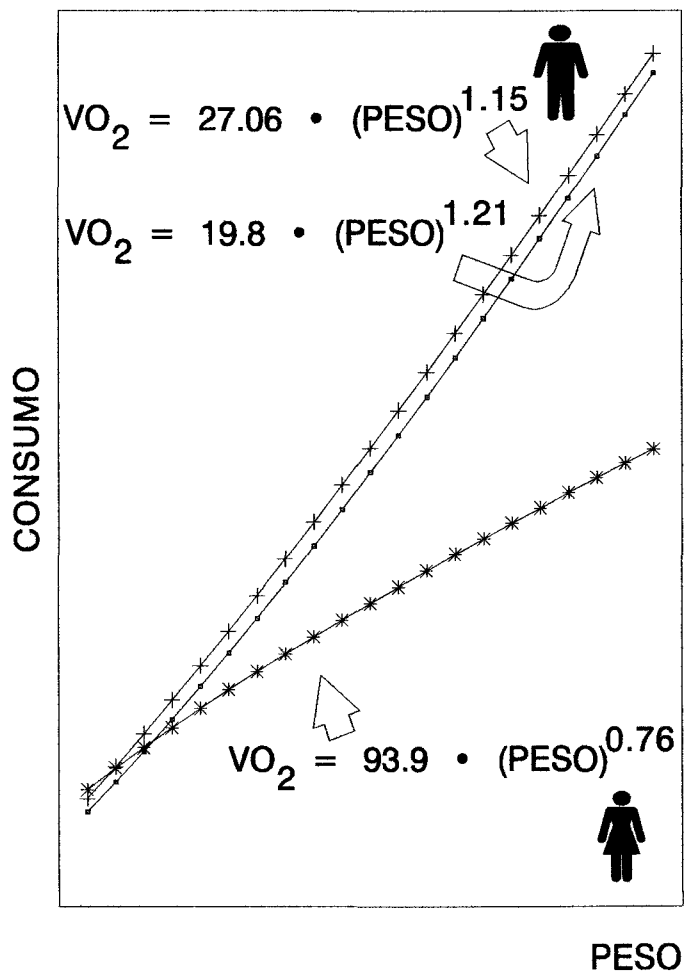
MODELO SIMULADO
Muestra Directa (MAGRO/VO₂)



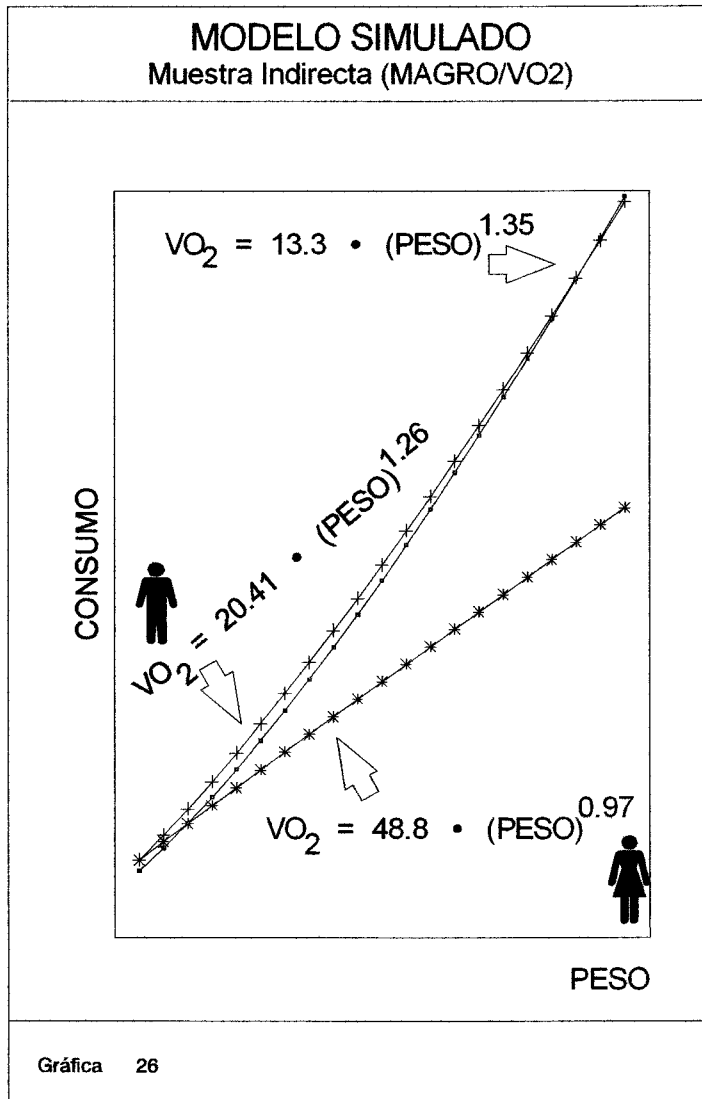
Gráfica 24

MODELO SIMULADO

Muestra Indirecta (PESO/VO₂)



Gráfica 25



En estas gráficas es posible observar que las correspondientes al sexo femenino siguen un modelo diferente, es decir en ningún caso la línea es paralela a la del hombre, o a la global, sino que su inclinación es distinta. Por tanto el sexo femenino no consume menos oxígeno por tener un peso menor al del sexo masculino, sino porque su comportamiento dimensional es diferente.

5.8. ESTABLECIMIENTO DE UN MODELO

El objetivo fundamental de este estudio es establecer un modelo dimensional en la relación peso corporal (total y libre de grasa) y el consumo de

oxígeno (calculado por metodología directa e indirecta), que nos permita validar los resultados del VO_2 max. igualando el parámetro del tamaño corporal.

Así pues del análisis de las nubes de puntos se desprenden las ecuaciones de la tabla siguiente:

		MASCULINO	FEMENINO
CONSUMO	TOTAL	$VO_2=178.71 \cdot (\text{Peso})^{0.69}$	$VO_2=183.16 \cdot (\text{Peso})^{0.62}$
DIRECTO	MAGRO	$VO_2=153.71 \cdot (\text{Peso})^{0.74}$	$VO_2=173.59 \cdot (\text{Peso})^{0.66}$
CONSUMO	TOTAL	$VO_2= 27.06 \cdot (\text{Peso})^{1.15}$	$VO_2= 93.98 \cdot (\text{Peso})^{0.76}$
INDIREC	MAGRO	$VO_2= 20.41 \cdot (\text{Peso})^{1.26}$	$VO_2= 48.40 \cdot (\text{Peso})^{0.97}$

En el apartado de la revisión matemática de las ecuaciones analizaremos los límites de confianza para los exponentes dimensionales, sin embargo si tenemos en cuenta la estimación calculada de "b", se puede apreciar que para el sexo femenino son menores que la unidad, al igual que los masculinos cuando la determinación del consumo de oxígeno se realiza directamente. Esto indica que el consumo de oxígeno para el sexo femenino aumenta proporcionalmente al peso corporal, pero en menor medida que en el sexo masculino; y en ambos casos con una proporción igual a los exponentes dimensionados calculados. Es decir, el consumo será proporcional al peso elevado a 0.97 para el sexo femenino, y así en todos los casos.

Esto nos indica que en estos subgrupos existe una limitación en la capacidad del organismo para obtener oxígeno y que esta capacidad disminuye conforme aumenta el peso corporal. Algunos exponentes se acercan al referenciado en la Ley de Kleiber o al encontrado por Ultsch (1973) de 0.75, sin embargo no ocurre lo mismo en todos los casos, por lo que no se puede generalizar si queremos

comparar diferentes deportistas, y mucho menos sin tener en cuenta el dimorfismo sexual.

En la gráfica 19 hemos observado cómo en el análisis de la relación Peso Total/Consumo Directo de Oxígeno, la parte final de la línea común a ambos sexos ($b = 0.92$) se cruza y asemeja con la parte final de la representación del sexo masculino ($b = 0.69$). Esto ocurre porque en la representación de datos completos, la parte final es la correspondiente sólo al sexo masculino. Las mujeres por tener menor peso no intervienen en esta parte final de la representación.

Hemos estudiado en una amplia muestra la relación entre el consumo de oxígeno y el peso corporal total, y libre de grasa, para poder determinar la característica biológica alométrica del ser humano que realiza actividad física. Nuestros resultados ponen en evidencia la necesidad de tener en cuenta este factor de dimensionalidad corporal en el momento de valorar el nivel funcional de un deportista. Sin embargo no debemos pasar por alto la relación del factor dimensional con el nivel de entrenamiento. Los estudios desarrollados por VAN Döbeln y Erikson ya en 1972 nos advierten que el exponente dimensional "b" sufre variaciones intraindividuales según el nivel de condición física de un deportista, pues encontraron el valor sorprendente de 0.42 para deportistas en mal estado físico y de 0.77 para los mismos sujetos después de un período de entrenamiento.

Así pues, parece evidente que el sedentarismo, asociado al incremento de peso, refleja una mala adaptación biológica del ser humano para que sus células capten oxígeno y que por tanto los individuos de mayor peso presentan una peor adaptación.

En nuestra muestra se encuentra incluida una parte de población infantil y por tanto sometida a incrementos del peso propios de su desarrollo. Para nosotros, estos incrementos no han modificado la estructura de la población estudiada pues los estudios longitudinales de Bailey, Ross, Mirwald y Weese (1978) nos indican claramente que los niños no

incrementan el consumo de oxígeno en consonancia con el incremento del peso sino en relación dimensional a $P^{0.89}$. Sin embargo la edad puede comportarse como un factor confusor, al igual que por ejemplo el nivel de condición física, es decir, que la relación peso-consumo de un deportista puede cambiar con la edad.

Así este exponente dimensional de 0.89 se encuentra cercano a los encontrados por nosotros, sin embargo no puede tomarse como una generalización en la población deportiva pues no se calculó para poblaciones adultas de pesos elevados.

Los valores encontrados en sus estudios por Marshall (1979) ($VO_2 = P^{0.95}$ para niños y $VO_2 = P^{0.89}$ para niñas) deben servirnos para refrendar que el incremento de peso influye como factor que minusvalora el consumo de oxígeno, pues nuestros exponentes son menores que los encontrados por estos autores como respuesta al hecho de haber incluido en nuestra muestra a población adulta. Sin embargo, confirma que el sexo femenino presenta una mayor limitación funcional, con respecto al peso, con independencia de ser niñas o mujeres adultas.

Los estudios sobre parámetros como la superficie corporal (relación Peso-Talla) desarrollados por Adams en 1973 relacionados con la capacidad máxima de trabajo nos ofrecen valores muy por encima de los encontrados por nosotros (0.88 para niños y 0.93 para niñas), sin embargo consideramos que la superficie corporal es el resultado indirecto de dos medidas antropológicas físicas, con lo cual se duplica la capacidad de variabilidad.

No podemos estar de acuerdo con los resultados de Asmunsen (1955) sobre la relación $VO_2 \propto L^{2.9}$ para niños y $VO_2 \propto L^{2.5}$ para niñas, pues indica que los infantes no poseen la potencia aeróbica necesaria para hacer frente a su propio peso pues dichos exponentes penalizan a los pesos más pequeños.

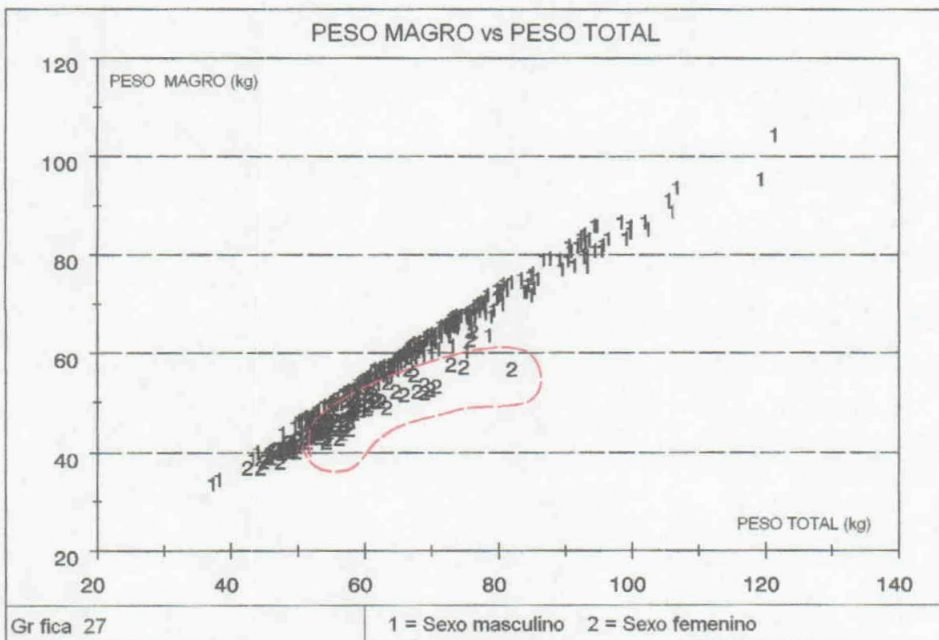
Autores como Davies, Barnes y Godfrey (1972), afirman que para determinar el rendimiento cardiorespiratorio a través del consumo de oxígeno

es fundamental conocer la relación entre la masa muscular activa y el oxígeno usado.

5.9. INCIDENCIA DEL PESO MAGRO

Desde este punto de vista, la representación entre Peso/Consumo (directo o indirecto) y Magro/Consumo (directo o indirecto), sólo produce, en el segundo caso, un desplazamiento de la gráfica hacia la izquierda, sin alterar prácticamente la relación entre sexo masculino y femenino.

Si observamos la representación Peso Corporal Total/Peso Magro (Gráfica 27), la relación es casi perfecta en el sexo masculino, indicando que en el estudio de la variabilidad del consumo de oxígeno en el varón deportista, es indiferente hacerlo con el peso corporal total que con el peso magro. Sin embargo en la mujer deportista no ocurre de esta manera probablemente debido a la mayor cantidad de masa grasa.



5.10. REVISION MATEMATICA DE LAS ECUACIONES

En la tabla VIII se expresan los resultados del exponente dimensional alométrico, su error estándar y límites de confianza.

Tabla VIII		M	F	M F
VO ₂ Directo Peso Total	b	0.69	0.62	0.92
	St	0.046	0.138	0.043
	LC	0.59 - 0.78	0.34 - 0.89	0.84 - 1.01
VO ₂ Directo Peso Magro	b	0.74	0.66	0.97
	St	0.048	0.170	0.042
	LC	0.64 - 0.83	0.32 - 1.00	0.89 - 1.05
VO ₂ Indirecto Peso Total	b	1.15	0.76	1.21
	St	0.028	0.051	0.026
	LC	1.10 - 1.21	0.66 - 0.86	1.16 - 1.26
VO ₂ Indirecto Peso Magro	b	1.26	0.97	1.35
	St	0.027	0.056	0.024
	LC	1.20 - 1.31	0.85 - 1.07	1.30 - 1.40

b = Exponente Dimensional Alométrico
St = Error Estándar
LC = Límites de Confianza

Analizamos aquí si los exponentes dimensionales calculados por nosotros difieren estadísticamente del valor 1 y por tanto la relación Peso-Consumo de oxígeno puede ser considerada no lineal.

a) Análisis de la muestra sin tener en cuenta la diferenciación por sexo:

a.1.) Si la determinación del consumo de oxígeno se realiza por metodología directa y se relaciona con el peso corporal total o magro, el resultado puede considerarse igual a 1, pues para los exponentes 0.92 (Peso total) y 0.97 (Peso magro) los límites de confianza incluyen la unidad.

a.2.) Si la determinación del consumo de oxígeno se realiza por metodología indirecta y se relaciona con el peso corporal total o magro, 1.21 y 1.35 respectivamente, los límites de confianza excluyen la relación lineal.

b) Para sexo masculino: Los exponentes dimensionales excluyen la relación lineal para sus límites de confianza, por tanto podemos presentar dicha relación como alométrica y para los valores encontrados por nosotros.

c) Para sexo femenino:

c.1.) Los exponentes dimensionales pueden considerarse diferentes a la unidad y por tanto sin relación lineal cuando en la relación se tiene en cuenta el peso corporal total (0.62 para la determinación directa del consumo de oxígeno y 0.76 para la indirecta)

c.2.) Cuando la relación del consumo de oxígeno (por determinación directa o indirecta) se realiza con el peso magro, los resultados no pueden considerarse diferentes de la unidad y por tanto debemos afirmar que no existe relación alométrica. La gran variabilidad de la masa grasa influye en los amplios límites de confianza.

En el hombre se observa un comportamiento constante de la variabilidad para el Peso Total (entre 0.59 y 0.78) y también para el Peso Magro (entre 0.64 y 0.83). Sin embargo en la mujer no sólo es mayor para el Peso Total (entre 0.34 y 0.89), sino también mayor para el Peso Magro (entre 0.32 y 1.00). Esto nos indica que el porcentaje graso de la mujer deportista es más variable, no tan constante como en el hombre, y hace que resulte improcedente poder calcular un modelo de ecuación alométrica en la mujer teniendo en cuenta el peso magro.

Así pues el hecho de que en la mujer el componente graso sea biológicamente más importante que en el hombre, tiene sus inconvenientes sobre el intento de establecer un modelo funcional referente al consumo de oxígeno en función a su peso corporal. Como quiera que para el conjunto de las mujeres los pesos corporales son más bajos, y como el efecto alométrico aparece en pesos altos, podríamos aplicar en este caso una proporción lineal.

6. CONCLUSIONES

1. El cálculo del porcentaje graso en el sexo femenino demuestra amplias diferencias con el sexo masculino, lo que nos obliga a utilizar separadamente los baremos de normalidad.
2. El análisis de las ecuaciones de regresión para el cálculo del porcentaje graso nos alerta sobre su disparidad en las regresiones.
3. Esta disparidad podría paliarse con la utilización del sumatorio de pliegues grasos como índice de adiposidad.
4. Proponemos como valores de normalidad del sumatorio de pliegues, en población deportiva, entre 47.51 y 75.63 mm. para el sexo masculino, y entre 48.15 y 83.2 mm. para el sexo femenino.
5. El porcentaje graso, en su correlación con el fraccionamiento del peso corporal total determinado en cadáveres, demuestra que la metodología para su determinación propuesta por Yuhasz, resulta la de mayor fiabilidad.
6. Los niveles de porcentaje graso de 8.24 y 10.97 delimitan el 50 % de la población deportiva masculina que se distribuye alrededor de la media (9.96 %). Los niveles de porcentaje graso en la población femenina entre 13.59 y 18.27 delimitan el 50 % alrededor de la media (16.23 %). Proponemos éstos márgenes como valores de normalidad.
7. En todas las ecuaciones que hacen referencia al sexo femenino, el exponente "b" dimensional alométrico tiene tendencia a ser menor que la unidad, lo que indica, que para la mujer existe una limitación en la capacidad de su organismo para obtener oxígeno y que esta capacidad disminuye conforme aumenta el peso corporal. Sin embargo su relación puede considerarse estadísticamente lineal.
8. El exponente dimensional alométrico es menor que la unidad en el sexo masculino, aunque sólo en determinaciones directas.
9. Los exponentes superiores a la unidad para el consumo de oxígeno determinado por pruebas

indirectas nos hacen pensar que las ecuaciones utilizadas para su cálculo sobrevaloran los resultados.

10. El deportista presenta un modelo de relación dimensional del consumo de oxígeno igual a $\text{ml}^1/\text{kg}^b/\text{min}^{-1}$, donde "b" es el exponente del peso y con valores menores que la unidad.

11. El valor de "b" refleja la necesidad de su aplicación como factor de corrección para comparar individuos de diferentes pesos y sexo.

12. La variabilidad del consumo de oxígeno en función al peso, sea total o magro, demuestra la indiferencia en la utilización de uno u otro peso.

13. La variabilidad del exponente dimensional alométrico es muy amplia en el sexo femenino para el peso magro, lo que viene a confirmar que el porcentaje graso en la mujer condiciona la creación de un modelo dimensional.

14. Nuestros resultados demuestran la necesidad de relacionar los valores interindividuales del consumo de oxígeno con el tamaño corporal.

7. BIBLIOGRAFÍA

01. ADAMS, F.H.: *Physical Activity: Human Growth and Development*. Ed. G.L. Rarick, New York, 1973, pp. 81-96.
02. ADOLPH, E.F.: "Quantitative Relations in the Physiological Constitution of Mammals". *Science*, 1949; 109: 579.
03. ASMUSSEN, E.: "A Dimensional Analysis of Physical Performance and Growth in Boys". *J. Appl. Physiol.* 1955; 7: 593-603.
04. ÅSTRAND, P.O. and RYHMING, I.: "A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) from Pulse Rate during Submaximal Work". *J. Appl. Physiol.* 1954; 7: 218.
05. ÅSTRAND, P.O. and RODAHL, K. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise*. Ed. McGraw-Hill, New York, 1977.
06. BAILEY, D.A.: "Maximal Oxygen Uptake and Dimensional Relationships in Boys Studies Longitudinally from age 8 to 15". University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. VI International Symposium on Pediatric Work Physiology. Czechoslovakia, 1974.
07. BAILEY, D.A., ROSS, W.D., MIRWALD, R.L. and WEESE, C.: "Size Dissociation of Maximal Aerobic Power During Growth in Boys". *Med. Sport.* 1978; 11: 140-151.
08. BARBANY, J.R.: *Elementos de Fisiología Aplicada al Ejercicio Físico*. 1ª ed. Generalitat de Catalunya -Institut Nacional d'Educación Física, Barcelona, 1983.
09. BRODY, S.: *Bioenergetics and growth, with special reference to the efficiency complex in domestic animals*. Ed. Reinhold, New York, 1945.
10. BUETTNER - JANUSH, J. *Antropología Física*. 1ª ed. Ed. Limusa, México, 1979.

11. CALDER III, W.A.: *Size, Function and Life History*. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts and London, 1984.
12. CAMPBELL, G.S.: *An introducción to environmental biophysics*. Berlin, 1977.
13. CARRASCO, J.L.: *El Método Estadístico en la Investigación Médica*. 2ª ed. Ed. Ciencia 3, Madrid, 1988.
14. COOPER, D.M., WEILER-RAVELL, D., WHIPP, B.J. and WASSERMAN, K.: "Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children". *Journal of Applied Physiology: Respiration, Environment, Exercise Physiology*. 1984; 56 (3): 628-634.
15. COLE, T.J.: "Weight/Height^p Compared to Weight/Height² for Assessing Adiposity in Childhood: Influence of Age and Bone Age on **p** during Puberty". *Annals of Human Biology*, 1986; 13: 433-451.
16. DAVIES, C.T.M., BARNES, C. and GODFREY, S.: "Body Composition and Maximal Exercise Performance in Children". *Human Biology*, 1972; 44 (3): 195-214.
17. DeROSE, E.H. y ARAGONÉS, M.T.: "La Cineantropometría en la Evaluación Funcional del Atleta". *Arch. Med. Dep*. 1984; 1 (0): 45-53.
18. DOCHERTY, D.: *The Predicción and Stability of Physical Performance in Boys 11 to 14 years of Age*. School of Physical Education University. University of Victoria, B.C. Canada. In Press.
19. DRINKWATER, D.T.: *An Anatomically Derived Method for the Anthropometric Estimation of Human Body Composition*. Tesis. S.F.U., Burnaby, B.C., Canada. 1984.
20. DRINKWATER, D.T., MARTIN, A.D., ROS, W.D. and CLARYS, J.P.: "Validation by Cadaver Dissection of Matiegka's Equations for the Anthropometric Estimation of Anatomical Body Composition in Adults Humans". *Perspectives in Kinanthropometry*, 1986; 1.

21. DÖBELN van W.: "Human Standard and Maximal Metabolic Rate in Relation to Fat-Free Body Mass". *Acta Physiol. Scand.*, 1956; 37 (suppl. 126): 1-74.
22. DÖBELN van, W. and ERIKSSON B.O.: "Physical Training, Maximal Oxygen Uptake and Dimensions of the Oxygen Transporting and Metabolizing Organs in Boys 11-13 years of Age". *Acta Paediatr. Scand.*, 1972; 61: 653-660.
23. DURNING, J.V.G.A. and WOMERSLEY, J.: "Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfolds thickness measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years". *Br. J. Nutr.*, 1974; 32: 77-97.
24. FAULKNER, J.A. *Physiology of swimming and diving*. In: Falls, H. *Exercise Physiology*. Baltimore, Academic Press.
25. FERRERO, J.A., GARCIA DEL MORAL, L. y LOPEZ, V.: *Pruebas de esfuerzo. Generalitat Valenciana*. 1ª ed. Valencia, 1989.
26. FLEISCH, A.: *Pflügers. Arch. Physiol.* 1936; 81:212. Citado por MELLEROVICH, H.
27. FICK, A.: *Pfhügers Arch. Physiol.* 1891; 50:189. Citado por MELLEROVICH, H.
28. GABBARD, C.P. and PATTERSON, P.E.: "Relationship and Comparison of Selected Anthropometric Measures to Muscular Endurance and Strength in ChildrernAged 3-5 years". *Annals oh Human Biology*, 1980; 7 (6): 583-586.
29. GALIANO, D.: "Criteris Cineantropomètrics d'Esportistes Catalans d'Especialitats Olímpiques". *Apunts de Medicina de l'Esport*, 1989; 100: 105-109.
30. GÄRTNER: *Zit. nach Fich u. katzenstein*. Citado por MELLEROVICH.
31. GOULD, S.J.: "Allometry and size in ontogeny and phylogeny". *Biol. Rev.* 1966; 41: 587-640.

32. GOULD, S.J.: "Allometry in primates, with emphasis on scaling and evolution of the brain". En: *Approaches to Primate Paleobiology*. Basilea, 1975; 5: 244-292.
33. GREENHILL, A.G.: "Determination of the greatest height consistent with stability that a vertical pole or mast can be made, and of the greatest height to which a tree of given proportions can grow". *Proc. Cambridge Philosoph. Soc.* 1981; 4: 65-73.
34. GÜNTHER, B.: "Dimensional Analysis and Theory of Biological Similarity". *Phys. Rev.*, 1975; 55: 659.
35. HOLMGREN, A., MATTSON, K.H.: *Scand. J. Clin. Laborat. Invest.* 1954: 6. Citado por MELLEROVICH.
36. HUESNER, A.A.: "Energy Metabolism and Body Size, I Is the 0.75 Mass Exponent of Kleiber's Equation a Statistical Artifact?". *Resp. Physiol.*, 1927; 3: 212.
37. HUXLEY, J.S. *Problems in Relative Growth*. Londres: Methuen, 1932. Citado por McMAHON.
38. HUXLEY, J.S. y TEISSIER, G. "Terminology of relative growth". *Nature*. 1936; 137: 780-781. Citado por CALDER III.
39. JOHANNSON, J.E.: *Skand. Arch. Physiol.* 1901; 11: 273. Citado por MELLEROVICH.
40. KELSO, A.J.: *Antropología Física*. 2ª ed. Ed. Bellaterra. Barcelona, 1978.
41. KERR, D.A.: "An anthropometric method for the fractionation of skin, adipose, muscle, bone and residual tissue masses in males and females age 6 to 77 years". M. Sc. Thesis. Simon Fraser University, Canada. 1988.
42. KLEIBER, M.: "Body size and metabolism". *Hilgardia*, 1932; 6: 315-353. Citado por BAILEY y colab.

43. KLEIBER, M.: "Body Size, Conductance for Animal Heat Flow and Newton's Law of Cooling". *J. Theor. Biol.* 1972; 37: 139-150.
44. MARSHALL, G.: *Allometric Growth in Boys of Age Seven to Sixteen years Studies Longitudinally. Kinanthropometry II.* University Park Press. Baltimore, 1979.
45. MARTIN, A.D.: *An Anatomical Basis for Assessing Human Body Composition: Evidence from 25 Dissections.* Leeds University. B.C. Canada, 1984.
46. MARTIN, A.D., ROSS, W.D., DRINKWATER, D.T. and CLARYS, J.P.: "Prediction of Body Fat by Skinfold Caliper: Assumptions and Cadaver Evidence". *International Journal of Obesity*, 1985; 9, suppl., (1): 31-39.
47. McMAHON, T.A.: "Using Body Size to Understand the Structural Desing of Animals: Quadrupedal Locomotion". *J. Appl. Physiol.*, 1975; 39: 619-627.
48. McMAHON, T.A. and BONNER, J.T.: *Tamaño y Vida.* 1ª ed. Ed. Labor. Barcelona, 1986.
49. MELLEROVICH, H., SMODLAKA, V.H.: *Ergometry. Basics of medical exercise testing.* Urban Schwarzenberg, Baltimore 1981.
50. MISHCHENKO, V.S.: *Fisiología del deportista.* Ed. Paidotribo. Barcelona, 1995.
51. MONOD, H. and FLANDROIS, R.: *Manual de Fisiología del Deporte.* 1ª ed. Ed. Masson. Barcelona-México, 1986.
52. PORTA, J., GALIANO, D. TEJEDO, A. y GONZALEZ SUSO, J.M.: "Valoración de la Composición Corporal. Utopías y Realidades". *Manual de Cineantropometría.* 1ª ed. GREC (FEMEDE). Pamplona, 1993.
53. PRANGE, H.D., ANDERSON, J.F. and RAHN, H.: "Scaling of skeletal mass to body mass in birds and mammals". *Amer. Nat.* 1979; 113: 103-122.

54. RARICK, G.L., SMOLL, F.L.: *Stability of Growth in Strength and Motor Performance from Childhood to Adolescence*. University of Wisconsin, Masidon, Wisconsin. USA, 1980.
55. ROSKAMN, H., REINDELL, K., MUSSHOF, K.: *König: Arch. Kreil.forschg*, 1961; 35: 67. Citado por MELLEROVICH.
56. ROSS, W.D.: *Metaphorical Models for the Study of Human Shape and Proportionality*. Department of Kinesiology. SFU. Burnaby. Canadá, 1976.
57. ROSS, W.D. and CORLETT J.T.: *Curriculum Design in Physical Education: A Scientific Overview*. Department of Kinesiology, SFU, Burnaby, Canadá, 1980.
58. RUBNER, M.: "Über den Einfluss der Körpergröße auf Stoff- und Kraftwechsel". *Z. Biol.* 1883; 19: 535-562. Citado por McMAHON.
59. SLAUGHTER, M.H., LOHMAN, T.G. and MISNER, J.E.: "Relationship of Somatotype and Body Composition to Physical Performance in 7- to 12-year-old Boys". *The Research Quarterly*, 1984; 48 (1): 159-168.
60. SCHMIDT - NIELSEN, K. "Scaling in biology: the consequences of size". *J. Exp. Zoology*. 1984. 194: 287-307.
61. SIRI, W.E.: *Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. A: Techniques for measure of body composition*. Ed. por J. Brozek y A. Henschel, Washington, D.C. Natl Acad. Sci. Nat. Res. Council; 223 240. 1961.
62. SPECK, M.: *Dtsch, Arch. Klin.* 1889; 45: 461. Citado por MELLEROVICH.
63. STAHL, W.R.: "Scaling of respiratory variables in mammals". *J. Appl. Physiol.* 1967; 22: 453-460.
64. SUAREZ DE LEZO, J., CARRASCO, J.L., PASALODOS, J., SANCHO, M. y ARIZON, J.: "The Exponential rate of Fiber Shortening. A New Angiographic Measure of

Left Ventricular Contractility in Man". *European Journal of Cardiology*, 1981; 12: 333-355.

65. TAYLOR, C.R., MALOIY, G.M.O., WEIBEL, E.R., LANGMAN, V.A., KAMAU, J.M.Z., SEEHERMAN, H.J. y HEGUND, N.C.: "Design of the mammalian respiratory system. III. Scaling maximum aerobic capacity to body mass: wild and domestic animals". *Respir. Physiol.* 1981; 44: 25-37.

66. TENNEY, S.M. and MORRISON, D.H.: "Tissue gas tension in small wild mammals". *Resp. Physiol.* 1967; 3: 160-165.

67. ULTSCH, G.R.: "A Theoretical and Experimental Investigation of the Relationships between Metabolic Rate, Body Size and Oxygen Exchange Capacity". *Resp. Physiol.*, 1973; 18: 143-160.

68. VALLS, A.: *Introducción a la Antropología. Fundamentos de la Evolución y de la Variabilidad Biológica del Hombre.* 2ª ed. Ed. Labor Universitaria, Barcelona, 1985.

69. WILKIE, D.R.: *Metabolism and body size.* En: *Scale effects in animal locomotion* (T.J. Pedley, ed.), Nueva York/Londres: Academic Press, 1977. Citado por McMAHON.

70. YUHASZ, M.S.: *The effects of sports training on body fat in man with prediction of optimal body weight.* Unpublished Doctoral Thesis. Urbana, University of Illinois. 1962.

8. ANEXO

Ecuaciones

Tablas

Gráficas

Figuras

ECUACIONES

1. **ESTRATEGIA DE YUHASZ**

1.1. PARA SEXO MASCULINO

$$\% \text{ Graso} = 3.64 + (P \cdot 0.097)$$

1.2. PARA SEXO FEMENINO

$$\% \text{ Graso} = 4.56 + (P \cdot 0.143)$$

En ambos casos P es la suma de los pliegues grasos: tríceps, subescapular vertical, iliocrestal, abdominal, muslo anterior y pierna.

2. **ESTRATEGIA DE KERR**

S - grasa = Σ de pliegues grasos: tríceps, subescapular vertical, supraespinal, abdominal, muslo anterior y pierna.

$$Z - \text{grasa} = \frac{[(S - \text{grasa} \cdot \frac{170.18}{\text{Talla}}) - 116.41]}{34.79}$$

$$\text{Masa grasa} = \frac{(Z - \text{grasa} \cdot 5.85) + 25.6}{\left(\frac{170.18}{\text{Talla}}\right)^3}$$

$$\% \text{ Graso} = \frac{\text{Masa grasa} \cdot 100}{\text{Peso}}$$

3. **ESTRATEGIA DE DURNING**

3.1. DENSIDAD PARA SEXO MASCULINO

$$1.1533 - (0.0653 \cdot S)$$

3.2. DENSIDAD PARA SEXO FEMENINO

$$1.1369 - (0.0598 \cdot S)$$

Donde en ambos casos S es igual al log. de la suma de pliegues grasos: Tríceps, bíceps, subescapular vertical e iliocrestal.

$$\% \text{ Graso} = \frac{495}{\text{Densidad}} - 450$$

4. **ESTRATEGIA DE DRINKWATER**

4.1. Peso graso de cabeza y cuello (PGC):

$$(0.01303 \cdot \text{Perímetro de cuello}) - 0.05163$$

4.2. Peso graso de tronco (PGT):

$$(0.48060 \cdot \text{Perímetro de tórax}) + (1.97141 \cdot \text{Pliegue abdominal}) - (0.48746 \cdot \text{Diámetro AP de tórax}) - 28.95386$$

4.3. Peso graso de extremidades superiores (PGE_s):

$$(0.20326 \cdot \text{Perímetro de brazo}) + (0.433 \cdot \text{Pliegue de tríceps}) - (0.14463 \cdot \text{Perímetro de antebrazo}) - 1.01498$$

4.4. Peso graso de extremidades inferiores (PGE_i):

$$(3.46075 \cdot \text{Pliegue de pantorrilla}) + 3.94624$$

$$\% \text{ Graso} = \frac{(\text{PGC} + \text{PGT} + \text{PGE}_s + \text{PGE}_i)}{\text{Peso}}$$

5. **ESTRATEGIA DE CAR - SAN CUGAT**

5.1. PARA SEXO MASCULINO

% Tejido Adiposo subcutáneo = $0.3274 \cdot S + 0.2787$

Donde S es la suma de pliegue pectoral, tríceps, supraespinal y abdominal.

5.2. PARA SEXO FEMENINO

% Tejido Adiposo subcutáneo = $0.356 \cdot S + 6.6908$

donde S es la suma de pliegue tríceps y muslo anterior

6. **ESTRATEGIA DE DE ROSE**

Corresponde a la metodología de Faulkner, adoptada por De Rose para su estrategia de fraccionamiento del peso corporal total en cuatro componentes.

% Graso = $(S \cdot 0.153) + 5.783$

Donde S es igual a la suma de los pliegues grasos: tríceps, subescapular vertical, iliocrestal y abdominal

TABLAS

NO NUMERADAS

- Pág. 1 Aparición de la especie "Homo Sapiens".
- Pág. 3 Comparación en escala 10 de diferentes animales.
- Pág. 11 Fórmulas alométricas para diferentes órganos.
- Pág. 12 Fórmulas dimensionales de variables físicas (I).
- Pág. 13 Fórmulas dimensionales de variables físicas (II).
- Pág. 28 Distribución de los deportistas estudiados.
- Pág. 28 Distribución de los deportistas por rangos de edades. Muestra conjunta.
- Pág. 28 Distribución de los deportistas por rangos de edades. Muestra conjunta. Test directo.
- Pág. 29 Distribución de los deportistas por rangos de edades. Muestra conjunta. Test indirecto.
- Pág. 30 Porcentaje de distribución de la muestra estudiada en comparación con la distribución del Centre de Medicina de l'esport de Barcelona (CMEB).
- Pág. 30 Porcentaje de distribución de la muestra estudiada en comparación con la distribución del CMEB para diferentes rangos de edades.
- Pág. 30 Porcentaje de distribución de la muestra estudiada en comparación con la distribución del CMEB para diferentes rangos de edades y sexos.
- Pag. 51 Factores de corrección de Åstrand para la edad.

- Pág. 51 Factores de corrección de Åstrand para la Frecuencia cardíaca.
- Pág. 58 Coef. de correlación para la totalidad de cadáveres.
- Pág. 58 Coef. de correlación para cadáveres con error = 0.
- Pág. 70 Rangos de consumo de oxígeno directo e indirecto con relación al sexo.
- Pág. 84 Exponentes dimensionales en conjunto y por sexo de la relación Peso total/Consumo directo.
- Pág. 84 Exponentes dimensionales en conjunto y por sexo de la relación Peso Magro/Consumo directo.
- Pág. 89 Fórmulas dimensionales encontradas en el estudio

NUMERADAS

- Tabla I Estadística descriptiva del % graso en ambos sexos. (Pág. 60).
- Tabla II Baremos del % graso para ambos sexos. (Pág. 62).
- Tabla III Estadística descriptiva del sumatorio de pliegues para ambos sexos. (Pág. 64).
- Tabla IV Baremos del sumatorio de pliegues para ambos sexos. (Pág. 65).
- Tabla V Estadística del VO_2 para el peso total y magro. (Pág. 66).
- Tabla VI Estadística del VO_2 (M). Muestras: Indirecta y Directa. (Pág. 68).

Tabla VII Estadística del VO_2 (F). Muestras: Indirecta y Directa. (Pág. 68).

Tabla VIII Exp. dimensional, error est. y límites de confianza. (Pág. 93).

GRÁFICAS

- n° 1. Relación entre la masa corporal (kg) y la superficie (cm²) de una especie de salamandras. (Pág. 7)
- n° 2. Relación entre el logaritmo del peso corporal y el logaritmo del peso levantado por especialistas en halterofilia. (Pág. 8)
- n° 3. Tasa de producción de calor desde la musaraña al elefante. (Pág. 9)
- n° 4. Ley de Kleiber. Relación entre la masa corporal y la producción de calor. (Pág. 10)
- n° 5. Proporción del húmero en bóvidos. (Pág. 14)
- n° 6. Descripción de la tasa metabólica en humanos. (Pág. 19)
- n° 7. Relación entre consumo de oxígeno y masa corporal en animales. (Pág. 21)
- n° 8. Relación entre el consumo de oxígeno y el peso corporal elevado a 2/3 en deportistas. (Pág. 23)
- n° 9. Porcentaje graso corporal de la muestra total. (media, \pm 1 desviación estándar, valor máximo y valor mínimo). (Pág. 61)
- n° 10. Sumatorio de pliegues grasos de la muestra total. (media, \pm 1 desviación estándar, valor máximo y valor mínimo). (Pág. 65)
- n° 11. Descripción estadística del peso corporal de la muestra indirecta (media y \pm 1 desviación estándar. (Pág. 67)
- n° 12. Comparación entre el Δ VO₂ max. de una representación lineal y exponencial. (Pág. 69)

- n° 13. Histograma del peso total en sexo masculino (n y %). (Pág. 71)
- n° 14. Histograma del peso total en sexo femenino (n y %). (Pág. 72)
- n° 15. Frecuencia de los valores de VO_2 max. en sexo masculino (muestras directa e indirecta). (Pág. 73)
- n° 16. Frecuencia de los valores de VO_2 max. en sexo femenino (muestras directa e indirecta). (Pág. 74)
- n° 17. Comparación entre los valores de VO_2 max. de la muestra directa, en ambos sexos. (Pág. 75)
- n° 18. Comparación entre los valores de VO_2 max. de la muestra indirecta, en ambos sexos. (Pág. 76)
- n° 19. Representación de la línea de represión en la muestra directa entre el peso corporal total y el VO_2 max. (Pág. 78)
- n° 20. Representación de la línea de represión en la muestra directa entre el peso magro y el VO_2 max. (Pág. 79)
- n° 21. Representación de la línea de represión en la muestra indirecta entre el peso corporal total y el VO_2 max. (Pág. 80)
- n° 22. Representación de la línea de represión en la muestra indirecta entre el peso magro y el VO_2 max. (Pág. 81)
- n° 23. Modelo simulado en la muestra directa de las ecuaciones alométricas entre peso corporal total y VO_2 max. (masculino, femenino y ambos). (Pág. 85)
- n° 24. Modelo simulado en la muestra directa de las ecuaciones alométricas entre peso magro y

VO₂ max. (masculino, femenino y ambos).
(Pág. 86)

n° 25. Modelo simulado en la muestra indirecta de las ecuaciones alométricas entre peso corporal total y VO₂ max. (masculino, femenino y ambos). (Pág. 87)

n° 26. Modelo simulado en la muestra indirecta de las ecuaciones alométricas entre peso magro y VO₂ max. (masculino, femenino y ambos). (Pág. 88)

n° 27. Representación entre el peso magro y el peso corporal total. (Pág. 92)

FIGURAS

n° 1.	Posición anatómica de frente.	Pg. 33
n° 2.	Posición antropométrica de frente.	Pg. 33
n° 3.	Posición antropométrica de perfil.	Pg. 33
n° 4.	Planos corporales.	Pg. 34
n° 5.	Medición de la talla.	Pg. 35
n° 6.	Plano de Frankfort.	Pg. 36
n° 7.	Angulo escapular inferior.	Pg. 36
n° 8.	Punto acromial.	Pg. 37
n° 9.	Punto radial.	Pg. 37
n° 10.	Punto ilioespinal.	Pg. 38
n° 11.	Punto tibial lateral.	Pg. 38
n° 12.	Punto subescapular vertical.	Pg. 39
n° 13.	Punto iliocrestal.	Pg. 39
n° 14.	Puntos supraespinal.	Pg. 40
n° 15.	Punto abdominal.	Pg. 40
n° 16.	Punto de tríceps braquial.	Pg. 41
n° 17.	Punto de bíceps braquial.	Pg. 41
n° 18.	Punto de muslo anterior.	Pg. 42
n° 19.	Punto de pierna	Pg. 42

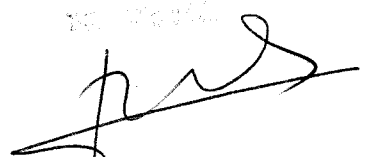
n° 20.	Pliegue subescapular diagonal.	Pg. 44
n° 21.	Pliegue iliocrestal.	Pg. 44
n° 22.	Pliegue supraespinal.	Pg. 45
n° 23.	Pliegue abdominal.	Pg. 45
n° 24.	Pliegue de tríceps braquial.	Pg. 46
n° 25.	Pliegue de bíceps braquial.	Pg. 46
n° 26.	Pliegue anterior del muslo.	Pg. 47
n° 27.	Pliegue de la pierna.	Pg. 47


Delfin Galiano Oroz
Cuarentafamilia asociacion del consumo de
oxigeno en deportistas: de recepcion en la Compadria
& las dimensiones corporales

DE UNANIMIDAD

SOBRESALIENTE EN LA UNIDE

2004


El Presidente,
F. I. C. G.

Julio

El Comodoro,
