Estimaciones , leyes de escala, análisis dimensional

Ejemplo de cifras significativas

1) ¿Cuántas cifras significativas tiene el número 0,003270?

a) 5 b) 7 c) 4 d) 6 e) 3

2) 12,23 + 121,418 + 300,1 + 0,12 = 433,868

¿Cuál es el resultado correcto de la operación si tenemos en cuenta las reglas de las cifras significativas?

a) 433,86 b) 433,87 c) 433,868 d) 434 e) 433,9 f) 433,8

3) 7,23 x 0,7700 x 28 = 155,8788

¿Cuál es el resultado correcto de la operación teniendo en cuenta las cifras significativas?

a) $1,5x10^2$ b) 155,8788 c) $1,55x10^2$ d) $1,6x10^2$

e) 155,9 f) $1,56x10^2$ g) 155,8

Estimaciones: cálculos aproximados y de orden de magnitud

Obtener una respuesta exacta de un cálculo es con frecuencia difícil o imposible.

Las estimaciones producen cálculos aproximados eficaces, que permiten establecer si es necesario un cálculo más preciso, además, sirve como verificación parcial en caso de si se realizan cálculos exactos.
Una estimación hasta burda puede darnos información útil.

A veces sabemos cómo calcular cierta cantidad, pero tenemos que estimar los datos necesarios para el cálculo; o bien, el cálculo puede ser demasiado complicado para efectuarse con exactitud, por lo que lo aproximamos.

En ambos casos, nuestro resultado es una estimación, que aún sería útil si tiene un factor de incertidumbre de 2, 10 o más.

Estos cálculos se denominan **estimaciones de orden de magnitud.**

El físico nuclear **Enrico Fermi** (1901-1954) los llamaba “calculos aproximados”.

Estimaciones: cálculos aproximados y de orden de magnitud

En cálculos aproximados se suele redondear un número hasta la potencia de 10 más próxima, es lo que se llama **orden de magnitud.**

Ejemplo: altura de hormiga p.ej. 0,8 mm ó, aprox.10^{-3} m (orden de magnitud 10^{-3} m).
Altura de personas entre 1,5 a 2,0 m, el orden de magnitud de $h \sim 10^{0}$ *m,*
El símbolo ~ significa "es del orden de magnitud de".

Esto no quiere decir que la altura típica de una persona sea realmente de 1 m, sino que está más próxima a 1 m que a 10 m ó 10^{-1}= 0,1 m.
Podemos decir que una persona típica es tres órdenes de magnitud más grande que una hormiga típica (cociente entre las alturas es, aproximadamente, igual a 10^{3}).

Un orden de magnitud no proporciona cifras que se conozcan con precisión; es decir, debemos considerar que no tiene cifras significativas.
En muchos casos, el orden de magnitud de una cantidad puede estimarse mediante hipótesis razonables y cálculos simples.

Ejemplo: ¿Cuántos granos de arena hay en una playa?

Primero estimamos las características que tienen la playa y su arena.
Supongo que: la playa ocupa una zona rectangular de 500 m x 100 m y que la arena tiene unos 3 m de profundidad.
Según una búsqueda en Internet, los los granos de arena tienen diámetros entre 0,06 y 2 mm.
Voy a suponer que los granos de arena son esferas con un diámetro medio de 1 mm.
Ademá supongo que los granos están tan juntos entre ellos, que el volumen del espacio entre ellos es despreciable comparado con el volumen de la arena.

1 El volumen V_P *de la playa es igual al número N de granos* por el volumen de un grano V_G: $V_P = N.V_G$

2. Usando la fórmula del volumen de una esfera, se calcula el volumen de un grano de arena: $V_G = (4/3)\pi R^3$

3. Despejo el número de granos. En nuestro cálculo los números tienen una cifra significativa únicamente, por lo que la respuesta también viene expresada con esta precisión

$$N = \frac{V_P}{V_G} = \frac{L \times A \times h}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3LAh}{4\pi R^3} = \frac{3(500)(100)(3)}{4\pi(0{,}5 \times 10^{-3})^3} = 2{,}9 \times 10^{14}$$

3×10^{14} granos de arena!

Ejemplo: ¿Cuántos granos de arena hay en una playa?

Veamos algo más fácil…

Si hubiera supuesto que cada grano de arena era un cubito de *a* = 2 mm de arista:

$V_G = a^3 = (2\times10^{-3})^3 = 2\times10^{-9}\ m^3$

$V_P = L\times A\times h = (5\times10^2)\times(2\times10^2)\times3 = 30\times10^4\ m^3 = 3\times10^5\ m^3$

$N = V_P / V_G = 3\times10^5 / 2\times10^{-9} = 1{,}5\times10^{14}$

Obtengo el mismo orden de magnitud: 10^{14} !!!

Problema de Fermi

El físico Enrico Fermi era un maestro en el cálculo de respuestas aproximadas a cuestiones ingeniosas que parecían a primera vista imposibles de resolver por la limitada información disponible.
El siguiente es un ejemplo de un **problema de Fermi**

Atribuido a él: cuántos afinadores de piano hay en Chicago (en década de 1950…-).
Suposiciones:
Hay 9 millones de personas viviendo en Chicago.
En promedio, viven dos personas en cada casa de Chicago.
Una de cada veinte casas tiene un piano que es afinado regularmente.
Dichos pianos son afinados una vez por año.
Un afinador de pianos tarda dos horas afinar un piano, incluyendo el tiempo de viaje.
Cada afinador trabaja 8 horas por día, 5 días a la semana y 50 semanas en un año.

Problema de Fermi

Cada afinador trabaja 8 horas por día, 5 días a la semana y 50 semanas en un año.
Entonces el número de afinaciones de piano en un año en Chicago es:
Atribuido a él: cuántos afinadores de piano hay en Chicago (en década de 1950…-).
Suposiciones:
Hay 9 millones de personas viviendo en Chicago.
En promedio, viven dos personas en cada casa de Chicago.
Una de cada veinte casas tiene un piano que es afinado regularmente.
Dichos pianos son afinados una vez por año.
Un afinador de pianos tarda dos horas afinar un piano, incluyendo el tiempo de viaje.
Cada afinador trabaja 8 horas por día, 5 días a la semana y 50 semanas en un año.

$$\frac{9.000.000\ personas}{2\ personas/casa} \times \frac{1\ piano}{20\ casas} \times 1\ afinación\ por\ año \quad = 225.000\ afinaciones/año$$

Como cada afinador trabaja 50×5×8 = 2.000 horas por año y cada afinación requiere 2 horas, cada afinador realiza 1.000 afinaciones por año.
Como se calcularon 225.000 afinaciones por año, **resulta que en Chicago habían 225 afinadores**.

Respuesta probablemente no exacta debido a errores en suposiciones iniciales, sin embargo, se supone que los errores se irán compensando unos con otros.

Ecuación de Drake

Ejemplo famoso de un problema del tipo Fermi.
En 1961 el radioastrónomo y presidente del SETI, **Frank Drake**, estima la **cantidad de civilizaciones en la Vía Láctea susceptibles de poseer emisiones de radio detectables**.

Según Drake, ese número es:

$$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

R* número de estrellas que nacen en nuestra galaxia cada año y duran lo suficiente como para poder desarrollar vida.
f_p fracción de esas estrellas que tienen planetas orbitando a su alrededor.
n_e número de esos planetas situados en la zona idónea para la vida.
f_l fracción de esos planetas en los que se desarrolla la vida.
f_i fracción de esos planetas en los que se desarrolla vida inteligente.
f_c fracción de esos planetas en los que los seres inteligentes han desarrollado una tecnología que les permite comunicarse con otros mundos.
L lapso de vida de una civilización inteligente y comunicativa.

Estimación hecha por Drake:
$N = R^* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L =$ 10×0,5×2×1×0,01×0,01×10.000=
10 posibles civilizaciones detectables.

Ecuación de Drake

El interés de la ecuación de Drake radica en el propio planteamiento de la ecuación, mientras que al contrario **carece de sentido tratar de obtener cualquier solución numérica de la misma**, dado el enorme desconocimiento sobre muchos de sus parámetros.

Los cálculos realizados por distintos científicos han arrojado valores tan dispares como una sola civilización (que correspondería a la nuestra), o diez millones.

Se ha postulado también que la ecuación podría ser excesivamente simplista y que está incompleta.

Ecuación de Backus... para encontrar pareja

El economista Peter Backus, trasladó el problema de la Ecuación de Drake a las relaciones sentimentales. Backus plantea la ecuación, según sus condiciones: busca una chica entre 24 y 34 años, universitaria, atractiva, en Reino Unido.

La ecuación es similar a la de Drake: $G = N_* \cdot f_W \cdot f_L \cdot f_A \cdot f_U \cdot f_B$

Las variables de este singular modelo, con estimaciones aproximadas.

- N_* es la población total del Reino Unido, casi 61 millones de personas.
- f_W es la fracción de mujeres en el Reino Unido. Estimación: 51%.
- f_L es fracción de la población del Reino Unido que viven en Londres, para poder coincidir en un entorno con esa persona. Estimación: 13%.
- f_A es la fracción de personas con una edad próxima a Backus, en su momento tenía 31 años y esperaba que la otra persona estuviera entre 24 y 34. Estimación: 20%.
- f_U indica la fracción de personas con estudios universitarios, una exigencia académica que proponía Backus. Estimación: 26%.
- f_B es la fracción de atracción de Backus. La atracción sexual es esencial en una relación sentimental. Backus estimó el porcentaje de mujeres que le podían parecer atractivas a priori. Estimación: 5%.

$$G = 61.000.000 \times 0{,}51 \times 0{,}13 \times 0{,}20 \times 0{,}26 \times 0{,}05 = 10.515$$

Ecuación de Backus… para encontrar pareja

Con todos estos parámetros, la solución de la ecuación de Backus calculaba el número de mujeres posibles que a él le podían parecer una pareja adecuada, otro asunto es que la otra persona coincida en los requisitos.
De los 31 millones de mujeres que viven en el Reino Unido, sólo 10.515 eran “adecuadas” para él.
Además, se tiene que dar en este caso una reciprocidad.
Backus añadió que 1 de cada 20 chicas le encontraban atractivo, que 1 de cada 2 estaba soltera y que 1 de cada 10 daban lugar a conocerse (se caían bien).

$$X - 10.515 \times \frac{1}{20} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{10} - 26{,}29$$

El resultado que obtuvo no era muy esperanzador, si el hecho de buscar pareja le inquietaba, y es que de todo el Reino Unido, sólo 26 personas eran candidatas a ser su pareja.

Leyes de Escala

¿Son posibles estas criaturas de este tamaño?

Leyes de escalas

Parece que una hormiga es increíblemente fuerte respecto a su tamaño: puede cargar el peso de varias hormigas.
Sin embargo, un elefante no podría cargar a otro elefante.
Si hiciéramos una hormiga del tamaño de un elefante, ¿sería una súper-hormiga?

Veremos que no es posible la existencia de una hormiga de tal tamaño…

Galileo (1638, "Dos nuevas ciencias") cuando una forma crece en tamaño, su volumen crece más rápido que su superficie.

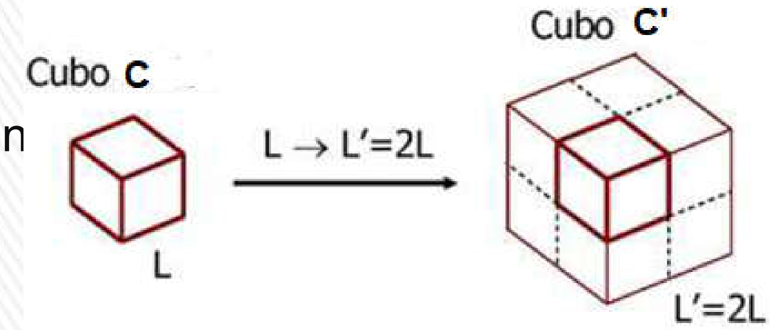
"Cuando un objeto crece sin cambiar de forma, de modo que una longitud característica del mismo (por ejemplo, su altura) se multiplica por un factor, su superficie se multiplica por el cuadrado de ese factor, en tanto que su volumen se multiplica por el cubo de su factor."

Ley cuadrática-cúbica…

Leyes de escalas

Cómo varían con el tamaño de un objeto las magnitudes longitud, área y volumen.

Dos cubos: C con arista L y C' con arista L'= 2L.
El segundo cubo, es mayor que el primer cubo, con un factor de escala *k*, con *k* = 2.



El **factor de escala (*k*)** es la razón de longitudes correspondientes en dos figuras semejantes (también se le llama **razón de semejanza**).

Dos cuerpos son semejantes cuando la razón entre las dimensiones lineales que lo caracterizan es la misma, cualesquiera que sean éstas

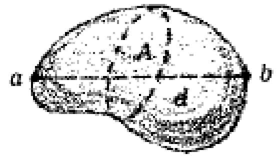
Si comparamos **áreas**, una cara de C' tiene 4 veces el área de una cara de C: la razón entre estas áreas es $k^2 = 2^2 = 4$. Es decir: $S' = 2^2 S = 4 S$
Volumen, volumen de C' es 8 veces volumen de C, razón de volúmenes es: $k^3 = 2^3 = 8$. Es decir: $V' = 2^3 V = 8 V$

$\mathbf{S = 6 L^2}$
$\mathbf{V = L^3}$ por lo tanto: $L = V^{1/3}$
Entonces: $S = 6 L^2 = 6 (V^{1/3})^2 = 6 V^{2/3}$

$\mathbf{S = 6V^{2/3}}$
es una relación que se cumple para cualquier cubo.
Relación cúbica-cuadrática para los cubos.

Este resultado, obvio para un cubo, es también cierto para cualquier par de figuras o cuerpos semejantes, prescindiendo de la forma.

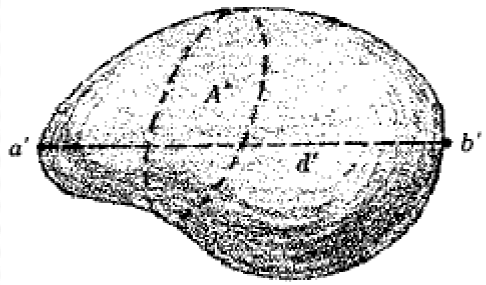
Leyes de escalas



Dos figuras semejantes de distinto tamaño, su factor de escala *k*, es el cociente de longitudes correspondientes de las figuras

$$k = \frac{d'}{d}$$

Como son semejantes, el factor de escala *k* es el mismo para dos longitudes cualesquiera.
La razón entre las áreas transversales *A* y *A'* vale: $\frac{A'}{A} = k^2$



La razón entre los volúmenes *V* y *V'* vale: $\frac{V'}{V} = k^3$

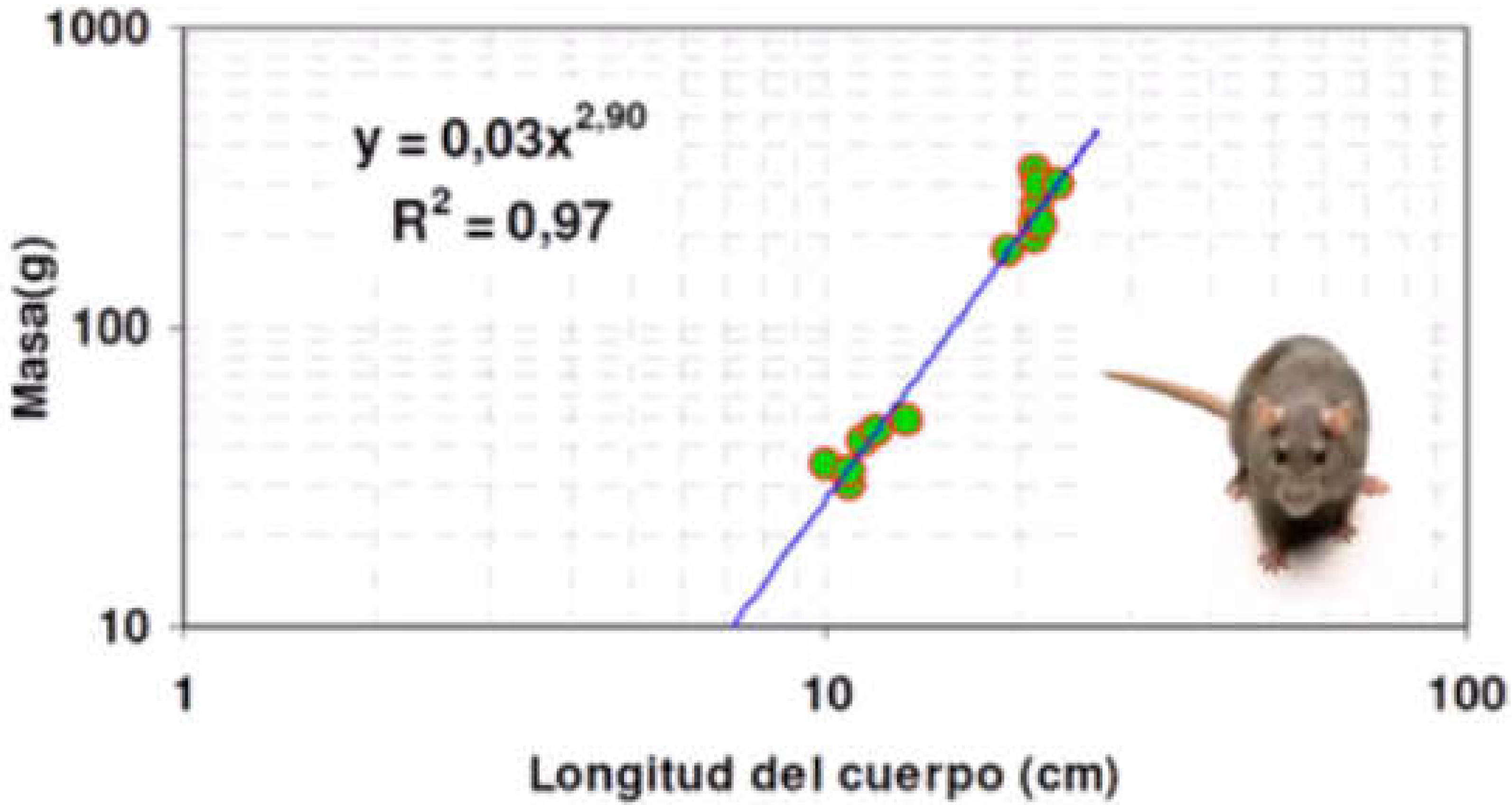
La importancia de estas relaciones se debe a que ciertas propiedades físicas dependen del volumen y otras dependen del área.

Ejemplo: el peso de un animal depende de su volumen.
Si W y W' son los pesos de dos animales de la misma forma, se puede escribir:

$W = aV$ y $W' = aV'$
donde *a* es una constante de proporcionalidad igual para c/u.
Se cumple:

$$\frac{W'}{W} = \frac{aV'}{aV} = \frac{V'}{V} = k^3$$

Hay ratones que guardan una relación casi cúbica entre la masa y la longitud del cuerpo.



EJEMPLO: Ejercicio 10

1.10: Una mujer de 1,55 m de altura pesa 50 kg. ¿Cuánto pesaría una mujer de 1,70 m y forma semejante?

Datos: L= 1,55 m; W= 50 kg; L'= 1,70 m

Modelamos a las mujeres como semejantes, entonces su factor de escala *k* vale:

$$k = \frac{L'}{L} = \frac{1{,}70}{1{,}55} = 1{,}09677$$

Por lo visto, el peso varía en función de k^3: $W' = k^3 W = (1{,}08977)^3(50) = 65{,}966$

Expresando el resultado con dos cifras significativas: **W'= 66 kg**

Leyes de escalas

Si aumento el tamaño (dimensiones lineales) de un cuerpo en un cierto factor, conservando su forma, su superficie (área) aumentará como el cuadrado de ese factor y su volumen como el cubo.
Este fenómeno se suele expresar con la notación: $S \propto l^2$ $V \propto l^3$

A partir de estas relaciones podemos escribir la siguiente relación entre dos cuerpos 1 y 2:

$$\frac{S_2}{S_1} = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^2 = \left(\left(\frac{l_2}{l_1}\right)^3\right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Si tomamos S_1 *y* V_1 *como valores iniciales para un cuerpo cualquiera, resulta* que cuando extrapolamos a tamaños distintos, la relación entre la nueva superficie *S y el nuevo volumen V es:* $S = KV^{\frac{2}{3}}$ **Ley cuadrática-cúbica**

para el cubo vimos que K=6

K constante que depende de los valores iniciales, es decir, de la forma del cuerpo.

Para esferas: superficie S = 4π*R*^{2} *y volumen V*= 4π*R*^{3}*/3, (R es el radio),*
R = *(3V/4π)*$^{1/3}$ *entonces relación entre superficie y* volumen es:

$$S = 4\pi R^2 = 4\pi\left(\left(\frac{3V}{4\pi}\right)^{\frac{1}{3}}\right)^2 = 3^{\frac{2}{3}}(4\pi)^{\frac{1}{3}}V^{\frac{2}{3}} \cong 4{,}84 \times V^{\frac{2}{3}} = 4{,}84 \times V^{0{,}667}$$

La esfera es el cuerpo con menor superficie para un volumen dado. Para un cuerpo con cualquier otra forma, el coeficiente *K* será siempre más grande que 4,84.

Leyes de escalas

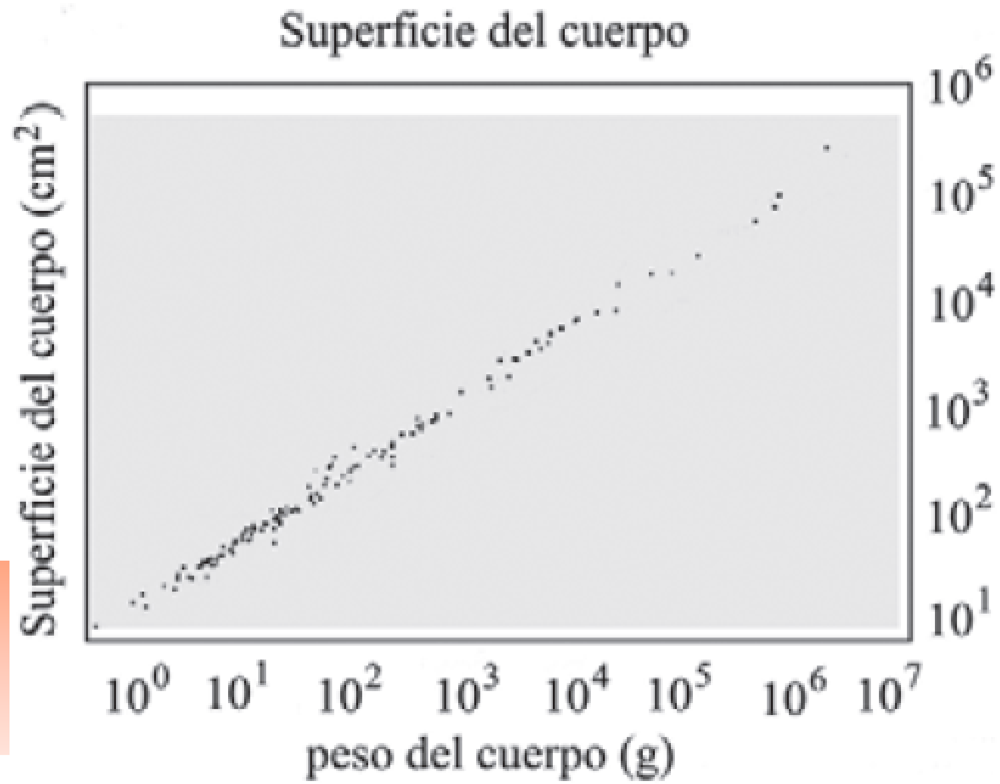
Este tipo de relaciones se les llama **leyes de escala isométricas.**

Es útil visualizar las relaciones del tipo $y = kx^a$ *en gráficos en los que se representen* en abscisas y ordenadas los logaritmos (decimales o neperianos) de los parámetros en lugar de los parámetros mismos. Usando las propiedades de los logaritmos: $\log(y) = \log(k) + a.\log(x)$

Para el caso que estamos considerando, tendríamos: $\log S = \log K + \frac{2}{3}\log V$

que implica que obtenemos una recta de pendiente igual a 2/3.

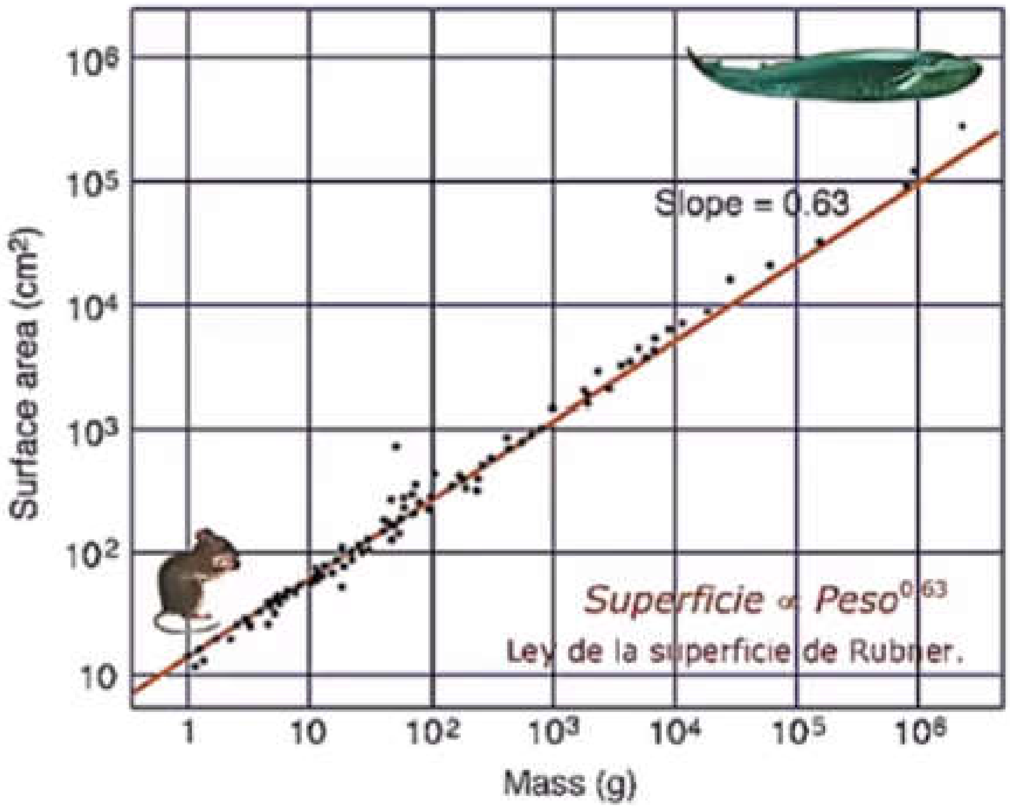
Si consideramos cuerpos de seres vivos, con una densidad constante en todos ellos,aproximadamente la del agua, entonces la recta que relaciona superficie corporal y masa tiene la misma pendiente.



Superficie corporal en función de la masa para vertebrados. Hemmingsen (1960)

Leyes de escalas

Relación entre
el área
superficial
y la masa de
mamíferos

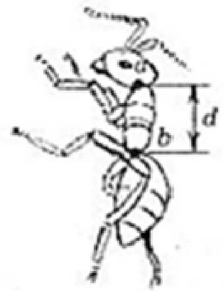


Leyes de escalas-Fuerza relativa

HORMIGA GIGANTE

Las relaciones o leyes de escala, son las expresiones de los **cambios funcionales y estructurales que tienen lugar como consecuencia de los cambios de tamaño (cambios de escala) en los organismos.**

Dos hormigas semejantes (de forma y composición idénticas). La hormiga gigante tiene un factor de escala $k = d'/d$ con respecto a la hormiga normal.
Por tanto la hormiga gigante pesa k^3 veces lo que la hormiga normal.



HORMIGA NORMAL

Se ha comprobado que la fuerza de cualquier organismo depende solamente del área de la sección transversal de sus músculos.

Por ejemplo el levantador de pesas: la longitud de sus brazos es normal, lo que es extraordinariamente grande es la sección transversal de sus brazos.

Se llama **fuerza relativa de un animal** al peso que puede levantar (o soportar) por la acción de sus músculos dividido por su propio peso.
El peso máximo que se puede sostener contra la gravedad terrestre depende de la fuerza muscular y ésta de la sección total de los músculos que intervienen en dicha acción, mientras que el propio peso del animal es proporcional a su volumen.

Sea $F_{máx}$ el peso máximo que puede levantar o la fuerza máxima que puede realizar la hormiga y W su propio peso, entonces la **fuerza relativa f** vale:

$$f = \frac{F_{máx}}{W}$$

Leyes de escalas-Fuerza relativa

Sean W' y $F'_{máx}$ el peso y la fuerza máxima que puede realizar la hormiga gigante. Como el volumen y la superficie son proporcionales, se cumple:

$W' = k^3 W$ y $F'_{máx} = k^2 F_{máx}$ por lo tanto:

$$f' = \frac{F'_{máx}}{W'} = \frac{k^2 F_{máx}}{k^3 W} = \frac{F_{máx}}{kW} = \frac{1}{k} f$$

$$\boxed{f' = \frac{1}{k} f}$$

Entonces, la fuerza relativa de la hormiga gigante es menor que la de la hormiga normal y se reduce en un factor *1/k*.

Comúnmente se dice que una hormiga es enormemente fuerte, pues puede levantar de 10 a 50 veces su peso, es decir su fuerza relativa varía entre 10 y 50.
La de un hombre sería de 0,50 (suponiendo que puede levantar la mitad de su peso).
Comparar las fuerzas relativas es erróneo, la fuerza relativa de la hormiga es tan grande, justamente por su pequeño tamaño.
Para evaluar la fuerza real de la hormiga se tiene que tener en cuenta la diferencia de tamaños.
Una hormiga normal tiene una longitud de 1,2 cm, mientras que un hombre tiene una longitud de 1,8 m. Una hormiga gigante, del tamaño de un hombre tendría un factor de escala de:

$$k = \frac{180\ cm}{1{,}2\ cm} = 150$$

Leyes de escalas-Fuerza relativa

Por tanto la fuerza relativa de una hormiga gigante (suponiendo f = 30) de:

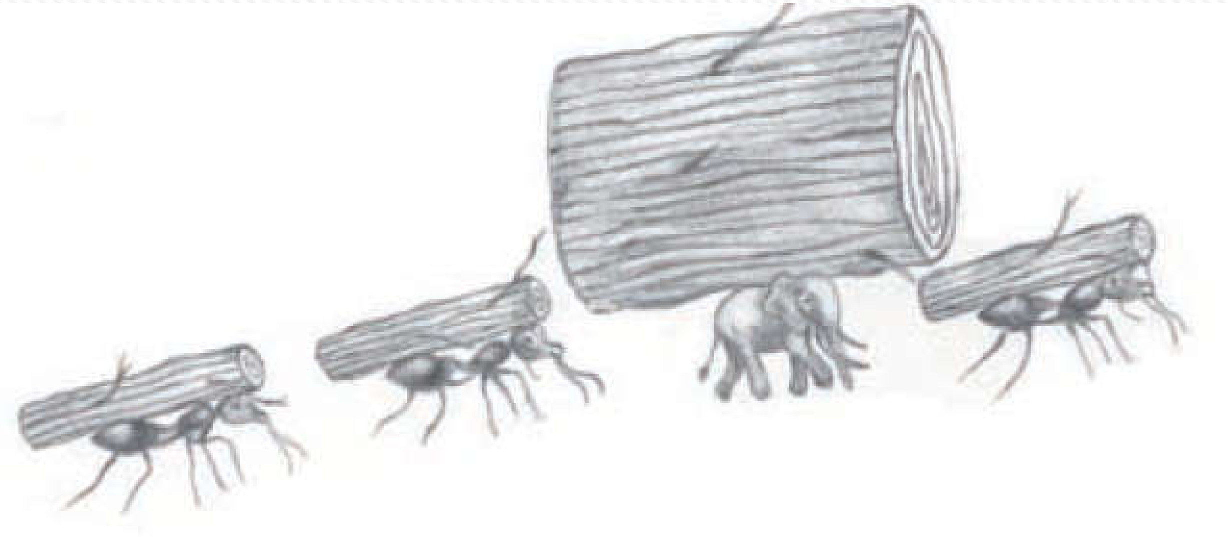
$$f' = \frac{1}{k} f = \frac{1}{150} \times 30 = \frac{1}{5} = 0{,}20$$

Menor que la del hombre!!!

O dicho de otra forma, un hombre del tamaño de una hormiga normal tendría una fuerza relativa de:

$$f' = \frac{1}{k} f = \frac{1}{\frac{1}{150}} \times 0{,}50 = 150 \times 0{,}50 = 75$$

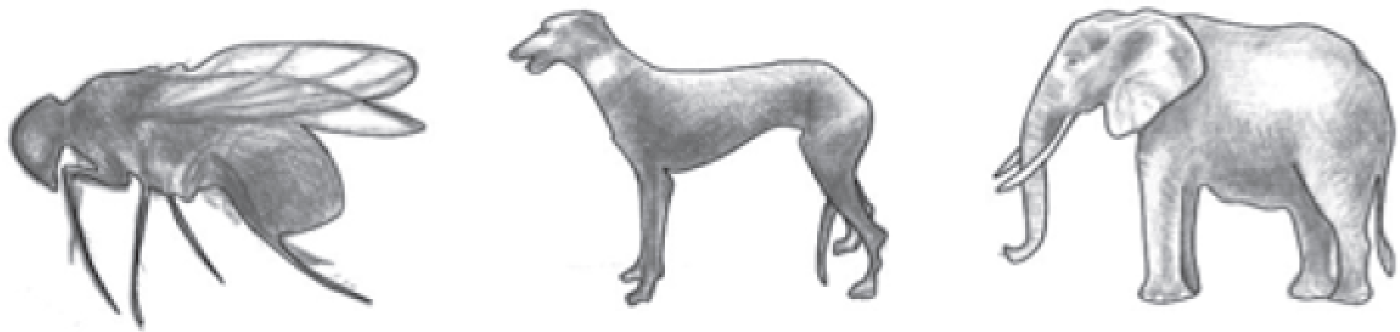
Por lo tanto, una hormiga es intrínsacamente más débil que un hombre o un elefante. De hecho, **una hormiga gigante del tamaño humano no sería una criatura biológicamente viable: ya que sólo podría levantar un porcentaje pequeño de su peso, incluso no podría levantar ni siquiera sus patas!**



Fuerza relativa de dos animales con el mismo tamaño (el de una hormiga) pero con formas distintas (de elefante y de hormiga).

Leyes de escalas -Fuerza relativa

Lo dicho acerca de la fuerza de los músculos se aplica también a los huesos y cualquier otro material estructural.
Para un animal de forma dada, la resistencia de sus huesos con respecto a su propio peso depende de su tamaño, y cuanto mayor sea el animal, más pequeña es su fuerza relativa. La forma de los animales grandes es muy diferente a la de animales pequeños.



Mosca, perro y elefante represen-tados como si tuvie-ran el mismo tamaño. Notar la diferencia en el grosor relativo de las extremidades.

El ancho de las patas del elefante es mucho mayor que las del perro, y éste que el de la mosca.
Un animal del tamaño de un elefante no puede tener la forma de un perro porque el cociente resistencia de los huesos y el peso del cuerpo sería muy pequeño.
Los huesos y músculos de los animaless grandes deben ser desproporcionadamente más anchos que huesos y músculos de animales pequeños.

EJEMPLO: ejercicio 10 continuación

Una mujer de 1,55 m de altura pesa 50 kg. ¿Cuánto pesaría una mujer de 1,70 m y forma semejante?

Datos: L= 1,55 m; W= 50 kg; L'= 1,70 m

Modelamos a las mujeres como semejantes, entonces su factor de escala *k* vale:

$$k = \frac{L'}{L} = \frac{1{,}70}{1{,}55} = 1{,}09677$$

Por lo visto, el peso varía en función de k^3: $W' = k^3 W = (1{,}08977)^3(50) = 65{,}966$

Expresando el resultado con dos cifras significativas: **W'= 66 kg**

Supongamos que la mujer de 1,55 m y 50 kg, puede levantar una masa de hasta 25 kg. ¿Cuánto podrá levantar una mujer semejante de 1,70 m?

La fuerza relativa de la mujer de 1,55 m vale: $f = \frac{F_{máx}}{W} = \frac{25}{50} = 0{,}50$

Mientras que la fuerza relativa de la mujer de 1,55 m vale: $f' = \frac{f}{k} = \frac{0{,}50}{1{,}09677} = 0{,}4559$

Por tanto podrá levantar una masa de hasta:

$$F'_{máx} = f'.W' = 0{,}4549 \times 65{,}966 = 30{,}0\, kg$$

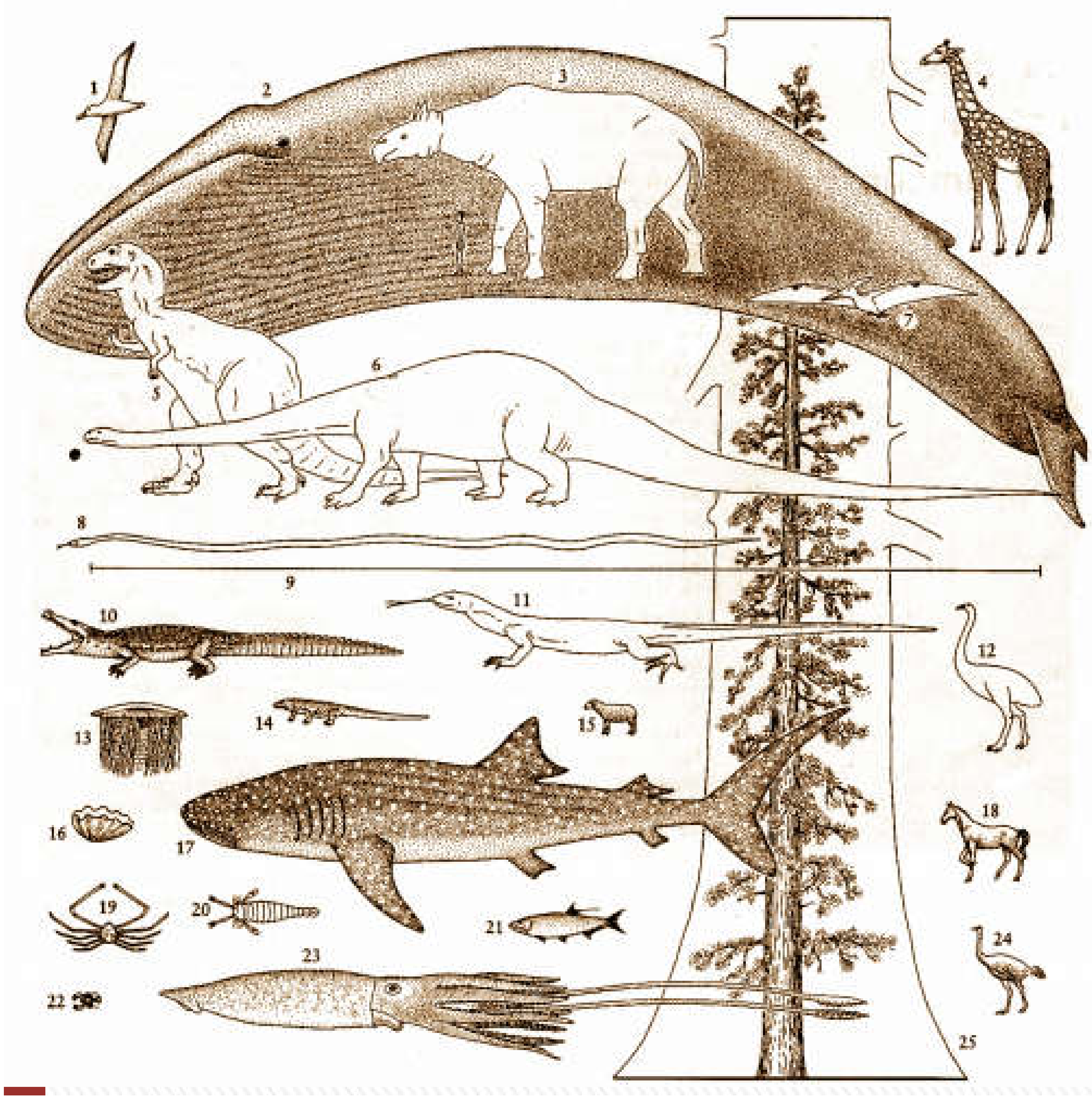
Podrá levantar hasta una masa de 30 kg

Leyes de escalas -Fuerza relativa

El efecto de escala interviene en otras propiedades fisiológicas.
Las **velocidades a la que se extrae el oxígeno del aire, a la que los alimentos se digieren y absorben en el intestino, a la que se pierde calor en la superficie del cuerpo, son proporcionales a las áreas de los pulmones, intestinos y la piel respectivamente, por tanto a k^2**.
La **velocidades a la que se debe suministrar oxígeno o alimento , o a la que se produce calor es proporcional a la masa (por tanto al volumen) del animal, por tanto a k^3**.
Esto repercute en la rapidez carrera, altura en saltos, potencia desarrollada.

Estas consideraciones muestran que para cada tipo de animal hay un tamaño óptimo.
Aunque Galileo demostró lo contrario hace más de trescientos años, todavía creemos que si una hormiga fuera tan grande como un hombre tendría una fuerza enorme o que podrían existir animales de tamaños descomunales como Godzilla o King Kong.
De hecho, el mayor animal que ha existido es la ballena azul (con un peso de hasta 170 toneladas) y su tamaño es posible porque es un animal acuático.
El mayor dinosaurio que existió fue un saurópodo el Argentinosaurio con un peso estimado entre 65 y 90 toneladas.
La figura siguiente muestra distintos animales representados a la misma escala.

Organismos de mayor tamaño (todos a la misma escala)



1. La mayor ave voladora (albatros);
2. El mayor animal conocido (ballena azul);
3. El mayor mamífero terrestre extinto (Baluchitnerium), junto a una figura humana como punto de comparación;
4. El animal terrestre vivo más alto (jirafa)
5 . Tyrannosaurus;
6. Diplodocus;
7. Uno de los mayores reptiles voladores (Pteranodon);
8. La mayor serpiente extinta;
9. Longitud de la mayor tenia encontrada en el hombre;
10. El reptil vivo más largo (cocodrilo de África occidental);
11. El mayor lagarto extinto;
12. La mayor ave extinta (Aepyomis);
13. La mayor medusa (Cyanea);
14. El mayor lagarto vivo (dragón Komodo);
15. Oveja;
16. El mayor molusco bivalvo (Tridacna);
17. El mayor pez (tiburón ballena);
18. Caballo; 19. El mayor crustáceo (cangrejo araña del Japón);
20. El mayor escorpión marino (Euriptérido);
21. Sábalo real;
22. La mayor langosta;
23. El mayor molusco (calamar gigante, Architeuthis);
24. Avestruz;
25. Los primeros 32 m del mayor organismo conocido (secoya gigante), superpuestos a un alerce de 30 m