Tema 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Relación de la Física con la Biología

1.2 Patrones de medida y sistemas de unidades

1.3 Análisis dimensional

1.4 Leyes de escala: tamaño, forma y vida

- Modelo de semejanza geométrica
- Ejemplo 1: Fuerza relativa
- Ejemplo 2: División celular
- Ejemplo 3: Tasa metabólica
- Modelo de semejanza elástica

1.1 Relación de la Física con la Biología

La **Física** es una ciencia cuyo objetivo es el estudio de la naturaleza del mundo material y de sus interacciones.

La **Biología** es una ciencia cuyo objetivo es el estudio de los fenómenos y procesos relacionados con la vida.

La **finalidad** de las dos ciencias es la misma: entender e interpretar los fenómenos naturales en términos de hipótesis que puedan ser confrontadas con la observación o el experimento.

Física	Biología
- Sistemas simples - Pocos parámetros para su caracterización - Resaltan los aspectos cuantitativos - Alto grado de formalización matemática - Deductiva (de principios generales) - Gran capacidad predictiva	- Sistemas complejos (seres vivos) - Muchos parámetros para su caracterización - Más descriptiva - Lenguaje mucho menos formal que el matemático - Poco deductiva - Depende del marco evolutivo

Los seres vivos **forman parte** del mundo físico

Afectados por las mismas leyes generales que rigen el comportamiento de cualquier sistema físico; por ejemplo, la gravedad, la tensión superficial, los intercambios de energía con el entorno, el movimiento de los fluidos, las interacciones electromagnéticas, etc.

Física ⟷ Biología

Nivel básico

El funcionamiento de los seres vivos y su acomodación al medio están condicionados por las leyes generales de la Física.

Nivel instrumental

La utilización de instrumentos que se basan en fenómenos físicos permite observar ciertas características de los seres vivos.

Nuestro **objetivo** es proporcionar el desarrollo de conceptos y leyes físicas básicas para aplicarlos a fenómenos de interés en Biología.

1.2 Patrones de medida y sistemas de unidades

La Física es una ciencia empírica (experimental):
experimentación, hipótesis y comprobación ⇨ leyes y teorías

Magnitud física: propiedad del mundo físico *que puede cuantificarse*.

Cualquier magnitud física se puede expresar en términos de unas pocas magnitudes (magnitudes fundamentales).

Magnitudes físicas fundamentales:

- **Longitud, Masa, Tiempo** (Mecánica)
- **Intensidad de corriente** (Electromagnetismo)
- Temperatura, Cantidad de sustancia (Termodinámica)
- Intensidad luminosa (Óptica)

La selección de las unidades patrón para estas magnitudes determina un sistema de unidades.

Las unidades de las magnitudes físicas derivadas se expresan en función de las unidades de las magnitudes fundamentales.

Propiedades del patrón de medida:

1. Inmutable, que no varíe con el tiempo
2. Disponer de él con facilidad, que pueda ser duplicado fácilmente
3. Carácter universal

Patrones del Sistema Internacional

Se han buscado patrones en propiedades físicas que son constantes en la naturaleza.

Tiempo: el **segundo (s)** corresponde a 9 192 631 770 períodos de la radiación entre ciertos niveles del átomo de ^{133}Cs. Antiguamente se consideraba un segundo como el tiempo que tarda un péndulo de 1 m de largo en realizar media oscilación.

Longitud: el **metro (m)** definido como la distancia recorrida por la luz en el intervalo de tiempo igual a 1/ 299 792 458 segundos. La velocidad de la luz es una constante universal y vale c = 299 792 458 m/s.

Masa: el **kilogramo (kg)** por definición vale exactamente la masa de un cilindro de platino-iridio que se guarda en la oficina internacional de pesas y medidas de Sèvres (París). Con esta definición la masa de un kilogramo es, prácticamente, la masa de 10^{-3} m^3 (un litro) de agua a una temperatura de 4º C.

Sistemas de unidades

Comprenden:

- Patrón de medida para las magnitudes fundamentales.
- Definiciones de las magnitudes derivadas (v, a, F, E, ...).
- Prefijos para múltiplos y submúltiplos.

Factor	*Prefijo*
10^{-12}	pico (p)
10^{-9}	nano (n)
10^{-6}	micro (μ)
10^{-3}	mili (m)
10^{3}	kilo (k)
10^{6}	Mega (M)
10^{9}	Giga (G)
10^{12}	Tera (T)

Ejemplos:

Sistema	*Unidades fundamentales*	*Unidad derivada (Ej: fuerza)*
mks (internacional, SI)	m, kg, s	Newton (N = kg m s^{-2})
cgs (cegesimal)	cm, g, s	dina (dyn = g cm s^{-2})
Inglés	ft (pie), lb (libra), s	poundal (pdl = 1 lb ft s^{-2})

(1 pulgada (in) = 2.54 cm, 1 lb = 0.4536 kg, 1 ft (pie) = 12 in)

Todos los sistemas de unidades están adoptados por convenio. El más comúnmente aceptado es el sistema internacional que será el que utilizaremos normalmente.

Unidades

Son la *escala* con que medimos las magnitudes.
Una misma magnitud puede expresarse en distintas unidades.
Ejemplo: longitud en m, cm, μm, pulgadas, ...

Los términos de una ecuación deben tener las mismas unidades.
Ejemplo: $E = \frac{1}{2} mv^2 + mgh$ (energía total = cinética + potencial)

1. Si la energía total tiene unidades en el sistema mks de Julios (J), el resto de los términos deben tener unidades de J.
2. Expresar la energía en ergios (sistema cgs)

Cambio de unidades:
Multiplicar por el correspondiente factor de conversión = 1.
Ejemplo: Pasar 90 km/h a m/s

$$90\ \mathrm{km/h} = 90 \frac{\cancel{\mathrm{km}}}{\cancel{\mathrm{h}}} \times \frac{1000\ \mathrm{m}}{1\ \cancel{\mathrm{km}}} \times \frac{1\ \cancel{\mathrm{h}}}{3600\ \mathrm{s}} = 25\ \mathrm{m/s}$$

Dimensiones de una magnitud

Denotan la *naturaleza física* de una magnitud.

El valor de una magnitud debe expresarse con un *número* y *unidades* con las *dimensiones* correctas. Ejemplo: $v = 2.3$ m/s, $[v]=LT^{-1}$

Características de las dimensiones:

1. Toda ecuación matemática que describa un proceso físico debe ser *dimensionalmente homogénea*, de lo contrario no es correcta.
2. Los argumentos de funciones trascendentes (exp, ln, cos, ...) deben ser adimensionales.
3. La dimensión de cualquier magnitud física puede expresarse en función de las dimensiones fundamentales:
   [masa] = M , [longitud] = L, [tiempo] = T.

1.3 Análisis dimensional

Procedimiento muy útil para verificar o deducir una fórmula empírica o para determinar las dimensiones de las constantes de una ecuación.

Ejemplo: Comprobar si la siguiente ecuación es correcta dimensionalmente

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)^2, \quad [x] = L\ , \quad [v] = LT^{-1}\ , \quad [a] = LT^{-2}$$

Magnitud física		*Ec. dimensional*
Longitud	L	L
Masa	m	M
Tiempo	t	T
Área	A	L^2
Frecuencia	ν	T^{-1}
Velocidad	v	LT^{-1}
Aceleración	a	LT^{-2}
Fuerza	F	MLT^{-2}
Presión	P	$ML^{-1}T^{-2}$
Energía	E	ML^2T^{-2}
Densidad	ρ	ML^{-3}

La *ecuación dimensional* expresa la dependencia de una magnitud física con las magnitudes físicas fundamentales.

1.4 Leyes de escala

En la naturaleza se da una gran variedad de tamaños y formas:

Mayor ser vivo:
ballena azul (2×10^5 kg)

21 órdenes de magnitud →

Más pequeño:
Micoplasma (2×10^{-16} kg)

Hasta qué punto son comparables los fenómenos físicos que observamos en organismos pequeños con los que se dan en otros mucho mayores.

Las leyes de escala nos permiten estudiar cómo dependen las propiedades y funciones de los seres vivos de su tamaño.

El tamaño está relacionado con la función de los seres vivos; a mayor tamaño mayor complejidad. También está relacionado con la forma.

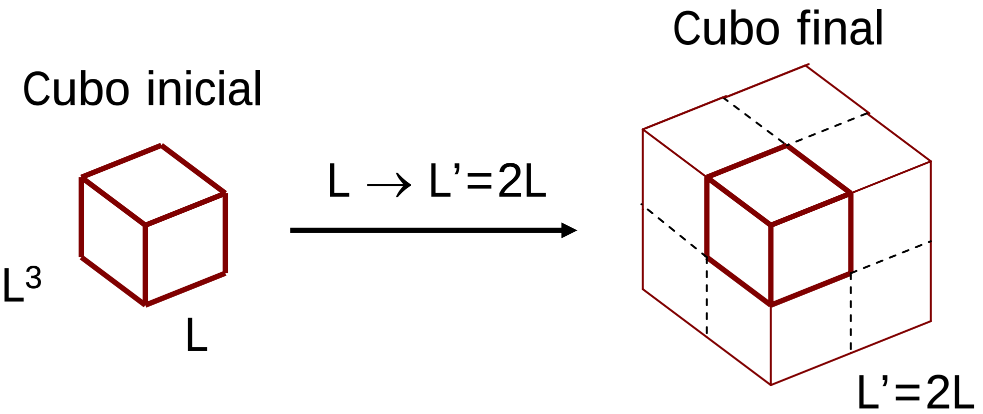
No es posible tener una célula tan grande como una hormiga, ni una hormiga tan grande como una persona.

No existe una ley general para establecer las leyes de escala. Para poder comparar fenómenos físicos de organismos de diferente tamaño siempre hay que establecer una **hipótesis biológica**.

Modelo de semejanza geométrica

Primero veamos cómo varían con el tamaño las magnitudes geométricas básicas: longitud, área y volumen ya que muchas propiedades están relacionadas con ellas, exacta o aproximadamente.

Longitud = L
Área = A = L^2
Volumen = V = L^3



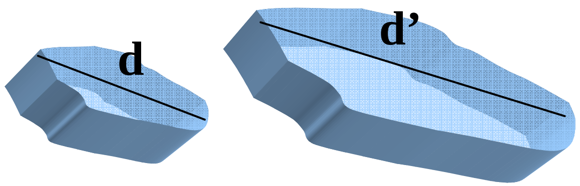
Longitud = L'
Área = A' = L'^2
Volumen = V' = L'^3

Definimos *factor de escala, k* : cociente entre las longitudes del cubo grande y del pequeño **k** = L'/L

Entonces: la **longitud** aumenta en L'/L = **k** (= 2 en este caso)
el **área** aumenta en A'/A = $\mathbf{k^2}$ (= 4 en este caso)
el **volumen** aumenta en V'/V = $\mathbf{k^3}$ (= 8 en este caso)

Resultado aplicable a figuras semejantes (misma forma pero distinto tamaño):

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

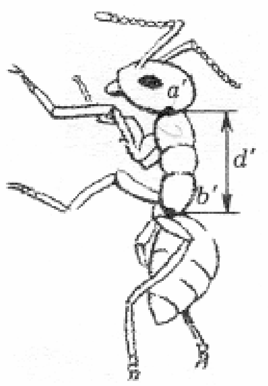


Ejemplo 1: Fuerza relativa

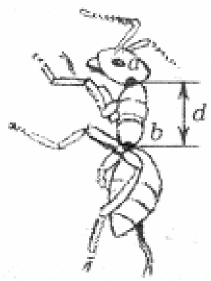
$$\text{Fuerza relativa} = \frac{\text{peso que puede levantar}}{\text{su propio peso}}$$

Ejemplo: una hormiga normal de longitud **d** y una hormiga gigante de longitud **d’** de la misma forma.

Pregunta: ¿Cómo cambia la fuerza relativa de una hormiga con el tamaño?



HORMIGA GIGANTE



HORMIGA NORMAL

Consideremos que la única diferencia que existe entre las hormigas es su tamaño. La relación que existe entre sus longitudes, áreas, y volúmenes viene dada, aplicando el factor de escala, por:

longitudes	$d'/ d = k$
áreas	$a'/ a = k^2$
volúmenes	$V'/ V = k^3$

Y la relación entre los pesos de ambas:

$$p'/ p = \rho\, g\, V'/\rho\, g\, V = V'/ V = k^3$$

$$\boxed{[\text{peso hormiga gigante}] = k^3 \times [\text{peso hormiga normal}]}$$

Para establecer la relación entre el peso que pueden levantar las hormigas, necesitamos considerar alguna **hipótesis biológica**.
Suponemos que la fuerza que posee cualquier animal depende sólo del área de la sección transversal de sus músculos (los culturistas).
Por consiguiente cambia con el tamaño igual que un **área.**

$$\boxed{[\text{peso que levanta hormiga gigante}] = k^2 \times [\text{peso que levanta hormiga normal}]}$$

Y aplicando la definición:

$$\text{Fuerza relativa hormiga gigante} = \frac{k^2 \times [\text{peso que levanta hormiga normal}]}{k^3 \times [\text{peso de hormiga normal}]}$$

es decir:

$$\boxed{[\text{Fuerza relativa hormiga gigante}] = \frac{1}{k} \times [\text{fuerza relativa hormiga normal}]}$$

Ejemplo: Calcular la fuerza relativa de una hormiga que tuviera el tamaño de un hombre de 180 cm. Datos: tamaño hormiga normal 1.2 cm y fuerza relativa = 3.

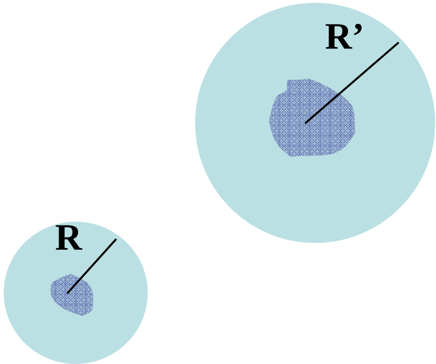
$$k = \frac{d'(\text{hormiga gigante})}{d(\text{hormiga normal})} = \frac{180\text{ cm}}{1.2\text{ cm}} = 150 \Rightarrow \text{Fuerza relativa hormiga gigante} = \frac{3}{k} = \frac{3}{150} = \frac{1}{50}$$

Inviabilidad biológica

Ejemplo 2: División celular

Pregunta:¿Por qué se dividen las células cuando alcanzan cierto tamaño?

Definimos el **factor de viabilidad** como la razón entre la cantidad máxima de O_2 que una célula puede obtener y la que necesita para sobrevivir. Este factor tendrá que ser, obviamente, mayor que 1 para que la célula sobreviva.



Factor de escala de la célula mayor (vieja) con respecto a la más pequeña (joven): $k = R'/R$.

La cantidad de oxígeno que una célula necesita para sobrevivir es proporcional a su volumen. Por tanto, la célula vieja necesitará para vivir **k^3 veces más O_2** que la joven:

$$\boxed{[\text{necesidad de } O_2/\text{min célula vieja}] = k^3 \times [\text{necesidad de } O_2/\text{min célula joven}]}$$

Todo el O_2 consumido por la célula tiene que pasar a través de la pared celular, de modo que la **máxima cantidad de O_2** que puede obtener la célula es proporcional al **área** de su pared celular.

$$\left[\begin{array}{l}\text{Cantidad máxima } O_2 \text{ /minuto}\\ \text{que puede obtener célula vieja}\end{array}\right] = k^2 \times \left[\begin{array}{l}\text{Cantidad máxima } O_2 \text{ /minuto}\\ \text{que puede obtener célula joven}\end{array}\right]$$

Aplicando la definición de factor de viabilidad a la célula vieja

$$\text{Factor viabilidad célula vieja} = \frac{\text{Cantidad máx. } O_2 \text{ puede obtener célula vieja}}{\text{Necesidad } O_2 \text{ célula vieja}}$$

Y teniendo en cuenta las relaciones anteriores nos queda:

$$[\text{Factor viabilidad célula vieja}] = \frac{1}{k} \times [\text{Factor viabilidad célula joven}]$$

Cuando una célula es joven, su factor de viabilidad es mayor que la unidad.
A medida que crece la célula, su factor de viabilidad va disminuyendo, y por tanto se aproxima a la unidad.
A fin de evitar la asfixia, la célula debe detener su crecimiento o dividirse.
Por medio de la división la célula vieja con un factor de viabilidad pequeño es reemplazada por dos células más pequeñas, ambas con factores de viabilidad mayores.

Ejemplo 3: Tasa, velocidad o ritmo metabólico

Definición: energía consumida por unidad de tiempo debida a la actividad metabólica (acaba siendo calor disipado).

Hipótesis biológica inicial:
Como los procesos metabólicos tienen lugar en todo el cuerpo, suponemos una dependencia *proporcional a la masa*

$$v_{met} \propto \text{Masa} \propto \text{Volumen} \propto L^3$$

Incorrecta. Experimentalmente se verifica la *ley de Kleiber* : $v_{met} \propto M^{0.75}$.

Otra hipótesis biológica:
Como el calor se escapa a través de la piel del animal o, en organismos aeróbicos, el oxígeno necesario para el metabolismo depende de la superficie alveolar, suponemos dependencia *proporcional a la superficie*

$$v_{met} \propto L^2 \propto M^{2/3} = M^{0.67} \quad (\textit{más cerca}).$$

Para explicar el resultado experimental necesitamos otro modelo de semejanza.

Modelo de semejanza elástica

Cuando consideramos animales de distintas especies la forma geométrica no se mantiene al variar el tamaño.

El cambio en la forma al aumentar el tamaño puede explicarse suponiendo dos longitudes típicas en vez de una.
En la Naturaleza se observa la relación:

$$d \propto L^{3/2}$$

Diámetros (d) y longitudes (L) del húmero de antílopes

Diámetros (d) y alturas (L) de árboles de distintas especies

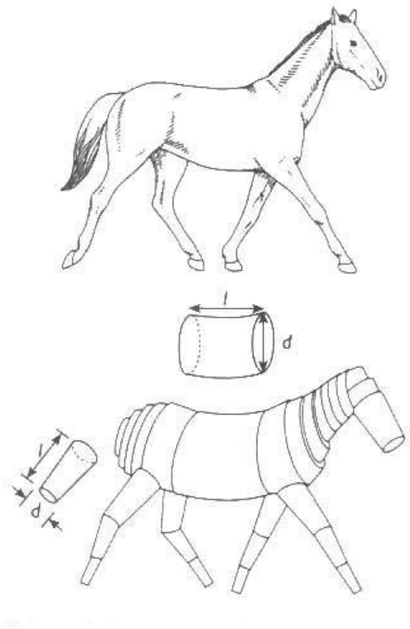
Por tanto, el diámetro y la altura no cambian en la misma proporción.

Al aumentar el tamaño del animal, la anchura de extremidades y tronco crece más rápido que la longitud de sus extremidades y su altura.

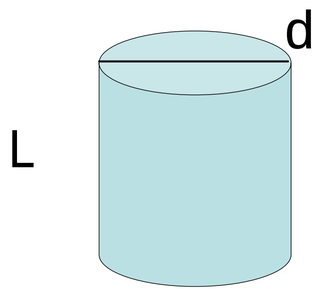
La relación $d \propto L^{3/2}$ optimiza la resistencia a la deformación y rotura.

La mayoría de las partes del cuerpo de muchos animales pueden considerarse cilíndricas (extremidades, tronco).

En el modelo de semejanza elástica cualquier longitud L y diámetro d cambia con el tamaño ajustándose a la relación anterior.



Para cualquier cilindro:



$V=\pi r^2 L$; $r=d/2$

$$d'/d=(L'/L)^{3/2}$$

Por tanto la relación entre las masas será:

$$M'/M=V'/V=(d'^2/d^2)(L'/L)=(L'/L)^4$$

Ejemplo 3: Tasa, velocidad o ritmo metabólico (cont.)

Volviendo al ejemplo anterior:

Hipótesis biológica acertada: basado en el *modelo de semejanza elástica*:

cilindros de diámetro d y longitud L, siendo

$d \propto L^{3/2}$; $M \propto d^2 L = d^{8/3}$

dependencia *proporcional a sección transversal*,

tasa $\propto d^2 \propto (M^{3/8})^2 = M^{3/4} = M^{0.75}$ (*correcta*).