



UNIVERSITAT DE  
BARCELONA

**Candidato:** David García Callejas

**Plaza:** Profesor Lector

**Código:** 00049501, 00049503

**Departamento:** Biología Evolutiva, Ecología y  
Ciencias Ambientales

**Sección:** Ecología

# **Presentación docente**

Asignatura

**Ecologia de comunitats i ecosistemes - Biología, 3er Curso**

Asignaturas relacionadas

**Ecologia de Ecosistemes i Biogeoquímica - CCAA, Optativa**

**Avenços en Ecologia de Poblacions i Comunitats - M.Sc. Ecologia**

## Metabolismo y relaciones alométricas

Sección del plan docente:

*UT3: El consum i el processament de la matèria orgànica*

## Contexto de la clase

UT2 - La producció primaria

***UT3 - El consum i el processament de la matèria orgànica***

UT4 - La descomposició i els descomponedors

---

## Prácticas asociadas:

Mediciones de masa corporal y tasa metabólica basal - laboratorio

Estimación de exponentes alométricos - ordenador

# Metabolismo y relaciones alométricas



# Índice

Alometrías

Tasas  
metabólicas



- Alometrías en individuos: Masa corporal
- Alometrías en poblaciones: densidad poblacional, equivalencia energética

# Relaciones alométricas



# Relaciones alométricas

$$Y = \beta x^{\alpha}$$

- De manera general denominadas *leyes de potencias*: variables que se expresan como la potencia de otras.
- Las leyes de potencias son ubicuas en la naturaleza
  - frecuencia de terremotos: ley de Gutenberg-Richter
  - distribución de salarios: ley de Pareto
  - frecuencia de palabras en lenguajes: ley de Zipf

# Relaciones alométricas

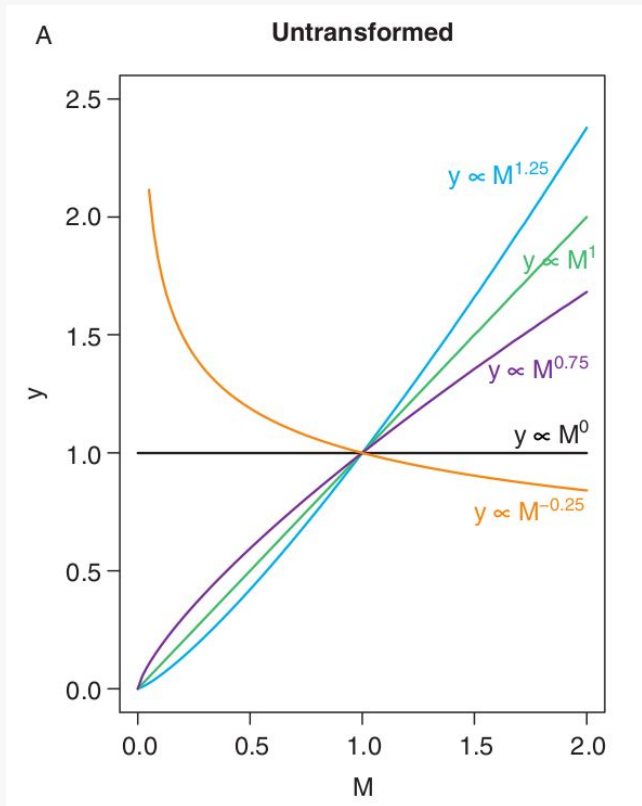
$$Y = \beta x^{\alpha}$$

En Ecología:

Relaciones por las cuales atributos moleculares, fisiológicos, ecológicos o de historia de vida ( $Y$ ) se relacionan con otros parámetros  $x$  de los organismos, elevados a una potencia  $\alpha$ .

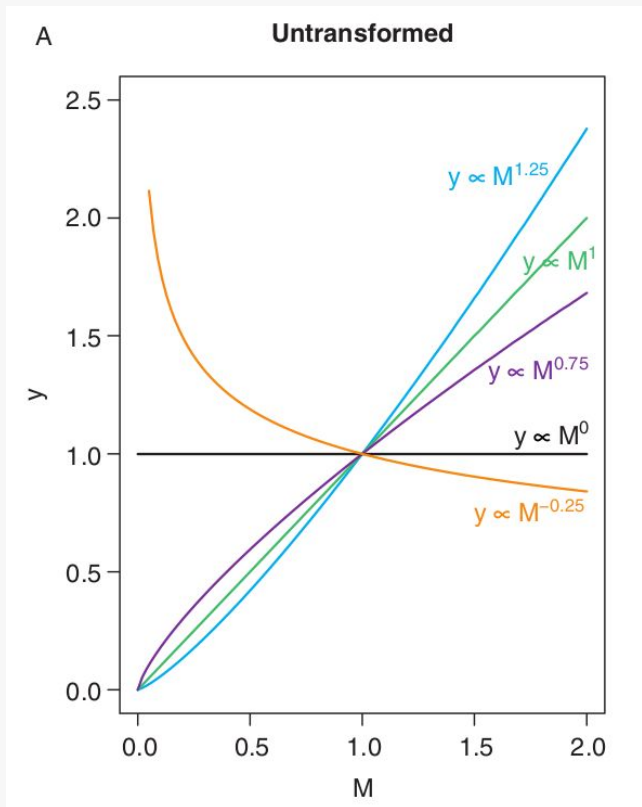
Marquet *et al.* (2005)

# Relaciones alométricas



- Relaciones no lineales

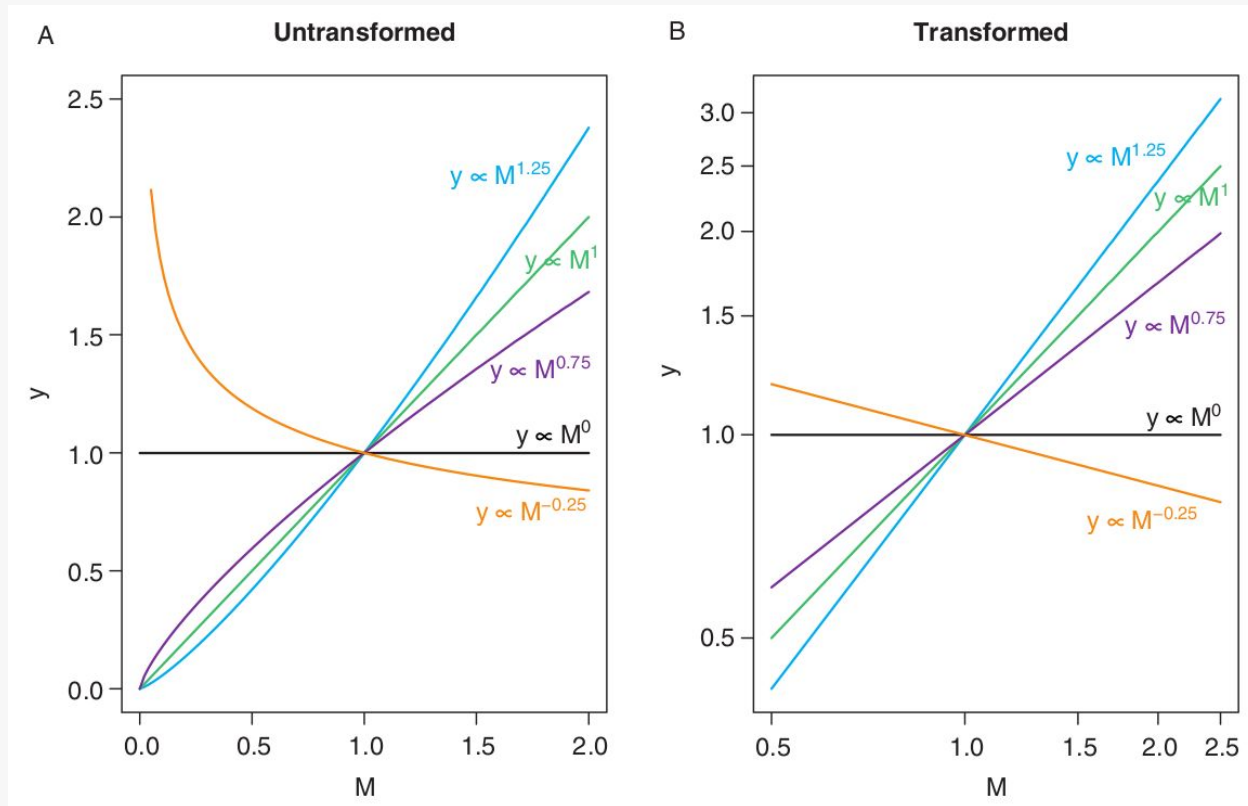
# Relaciones alométricas



- Relaciones no lineales
- ¿Podemos transformarlas para trabajar de manera más sencilla?
- Linearizamos usando logaritmos

$$Y = \beta x^\alpha$$
$$\log(Y) = \log(\beta) + \alpha \cdot x$$

# Relaciones alométricas



$\alpha < 0$ , decreciente

$\alpha = 0$ , constante

$0 < \alpha < 1$ , creciente sub-lineal

$\alpha = 1$ , creciente lineal

$\alpha > 1$ , creciente super-lineal

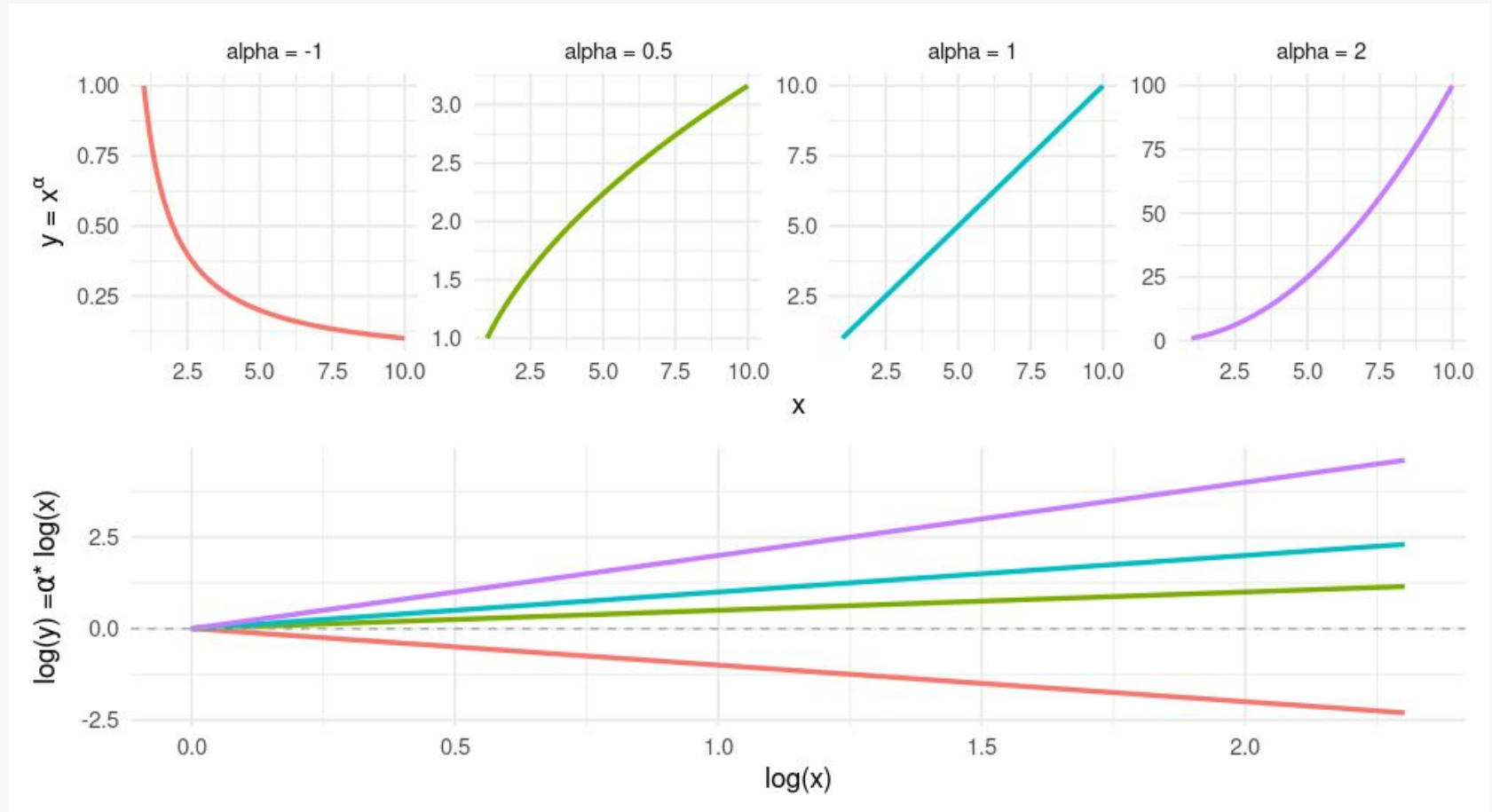
Sibly *et al.* (2012)

$$Y = \beta x^\alpha$$

$$\log(Y) = \log(\beta) + \alpha \cdot x$$

# Relaciones alométricas

[link a código R](#)



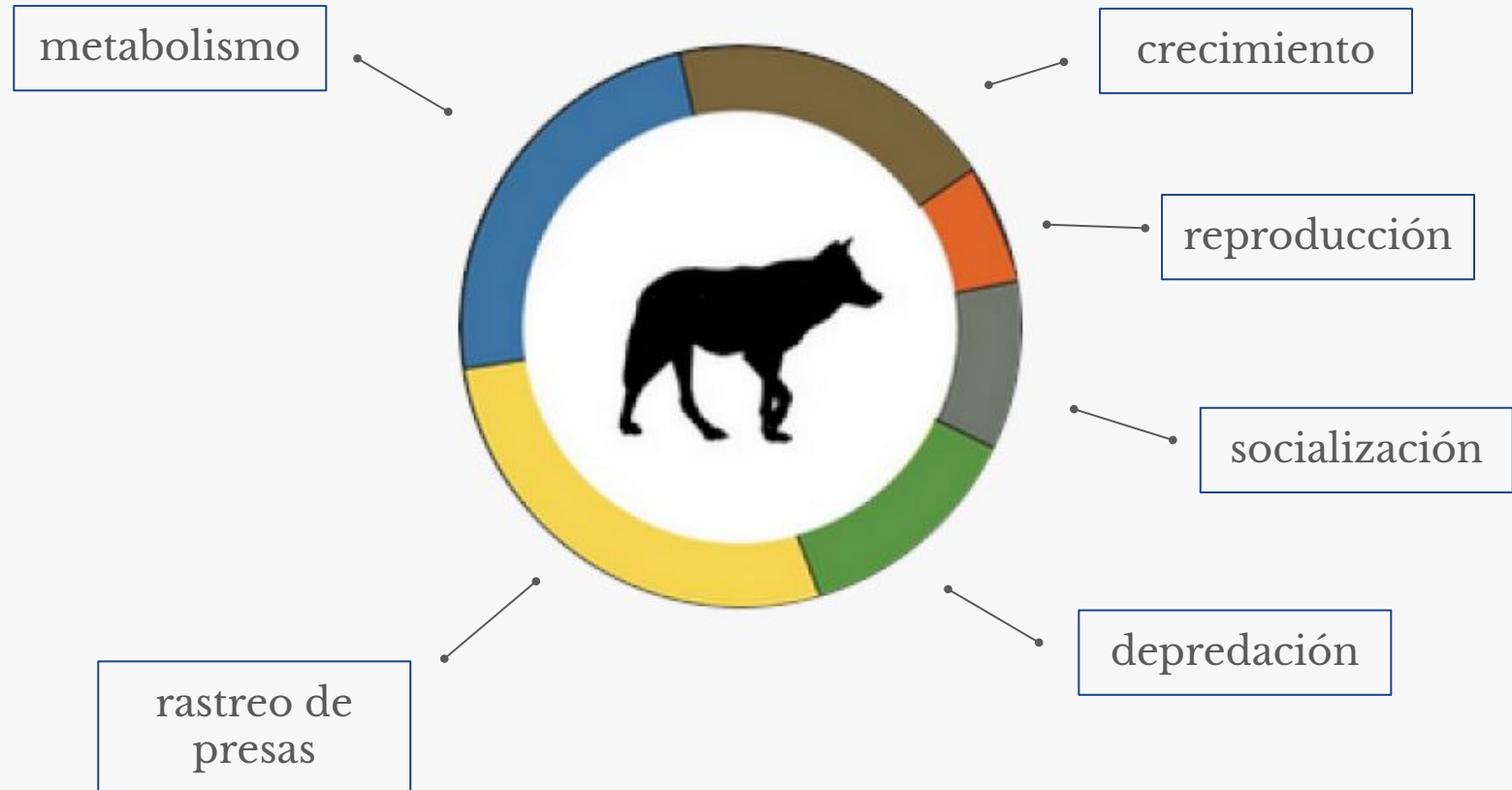
# Tasa metabólica

*El metabolismo se define como la transformación de energía y materiales por un organismo. La tasa metabólica fija la demanda de recursos de un organismo y la distribución de recursos a todas las funciones biológicas. En consecuencia, la tasa metabólica es la tasa biológica fundamental: es literalmente la velocidad de la vida*

Sibly *et al.* (2012)

# Tasa metabólica

Energía adquirida  $\neq$  tasa metabólica



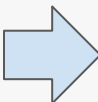
English *et al.* (2024)




# Tasa metabólica

<i>Acrónimo (inglés)</i>	<i>Aplicable a</i>	<i>Explicación</i>
BMR	endotermos	descanso, no en digestión, sin estrés térmico
SMR	ectotermos	como BMR, a temperatura definida
RMR	endo/ecto	como BMR, menos estricta
FMR	endo/ecto	gasto energético en condiciones normales
MMR	endo/ecto	gasto en condiciones de máximo esfuerzo

# Tasa metabólica



<i>Acrónimo (inglés)</i>	<i>Aplicable a</i>	<i>Explicación</i>
BMR	endotermos	descanso, no en digestión, sin estrés térmico
SMR	ectotermos	como BMR, a temperatura definida
RMR	endo/ecto	como BMR, menos estricta
FMR	endo/ecto	gasto energético en condiciones normales
MMR	endo/ecto	gasto en condiciones de máximo esfuerzo



# Tasa metabólica

¿Cómo medimos la tasa metabólica de un organismo?

- Consumo de  $O_2$  por unidad de tiempo en condiciones controladas
- Producción de  $CO_2$  por unidad de tiempo en condiciones controladas

Unidades:

energía por unidad de tiempo: vatios (julios/seg), ml  $O_2$ /tiempo

*La relación entre la masa corporal y la tasa metabólica de un organismo sigue una alometría*

# Alometría de masa corporal

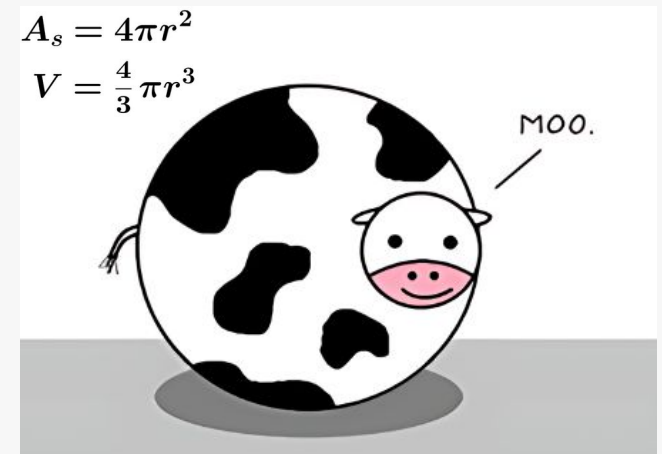
- La alometría fundamental es aquella entre masa corporal y tasa metabólica de un organismo
- Primeros estudios cuantitativos: 1883, Max Rubner
- Disipación de calor del organismo refleja la tasa metabólica
- Superficie corporal escala en  $2/3$  con la masa (volumen) corporal
- Por tanto, un exponente de  $2/3$  para la alometría masa-tasa metabólica es una hipótesis parsimoniosa

$$B = aM^{2/3}$$

# Alometría de masa corporal

- La alometría fundamental es aquella entre masa corporal y tasa metabólica de un organismo
- Primeros estudios cuantitativos: 1883, Max Rubner
- Disipación de calor del organismo refleja la tasa metabólica
- Superficie corporal escala en  $2/3$  con la masa (volumen) corporal
- Por tanto, un exponente de  $2/3$  para la alometría masa-tasa metabólica es una hipótesis parsimoniosa

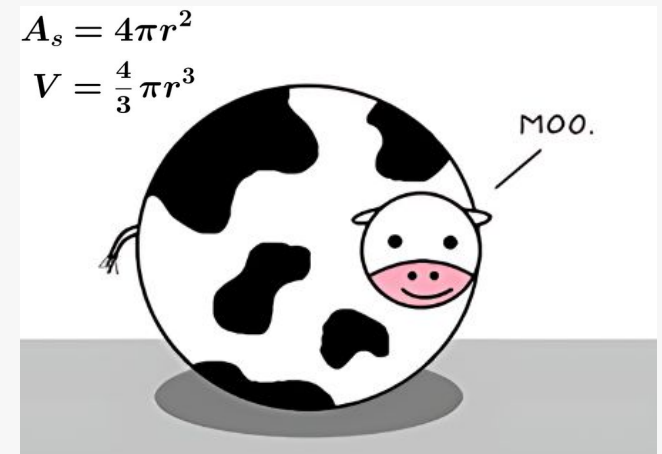
$$B = aM^{2/3}$$



# Alometría de masa corporal

- La alometría fundamental es aquella entre masa corporal y tasa metabólica de un organismo
- Primeros estudios cuantitativos: 1883, Max Rubner
- Disipación de calor del organismo refleja la tasa metabólica
- Superficie corporal escala en  $2/3$  con la masa (volumen) corporal
- Por tanto, un exponente de  $2/3$  para la alometría masa-tasa metabólica es una hipótesis parsimoniosa

$$B = aM^{2/3}$$



*Extra 1: Regla de Bergmann*  
*Extra 2: Tamaño máximo de un organismo*

# Alometría de masa corporal



$$\alpha \approx 2/3$$

Rubner (1883)

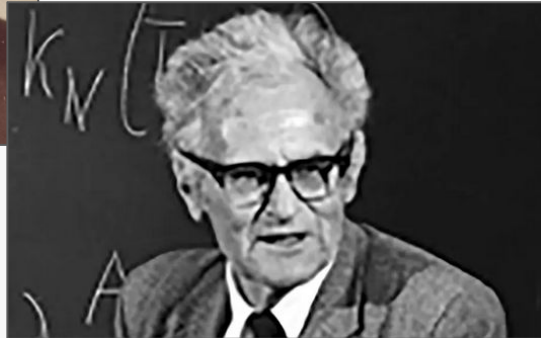


# Alometría de masa corporal



$$\alpha \approx 2/3$$

Rubner (1883)



$$\alpha \approx 3/4$$

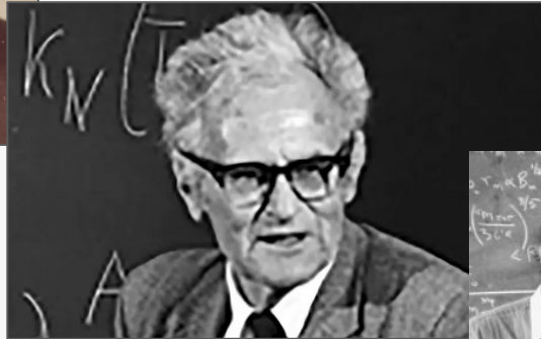
Kleiber (1932)

# Alometría de masa corporal



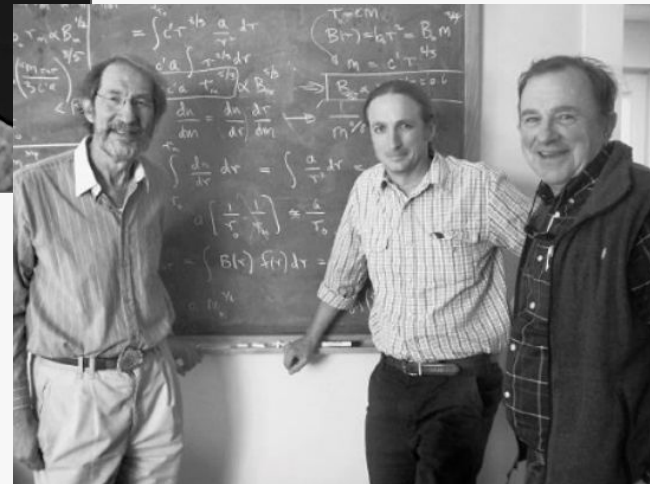
$$\alpha \approx 2/3$$

Rubner (1883)



Kleiber (1932)

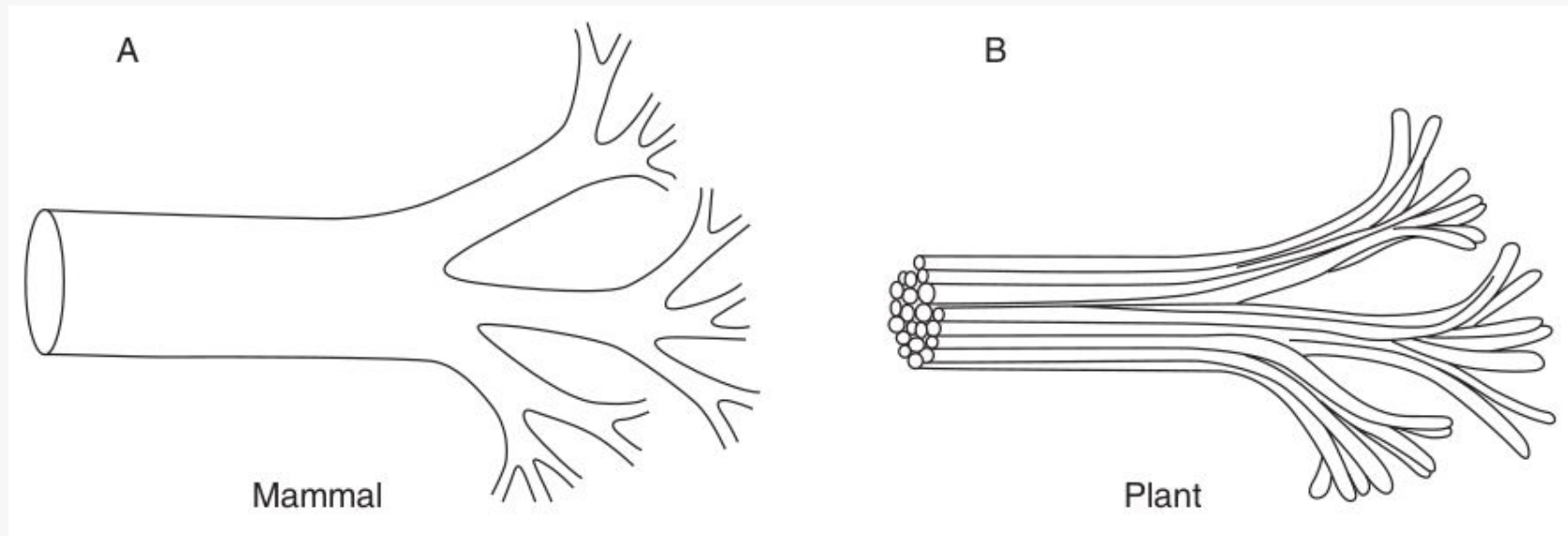
$$\alpha \approx 3/4$$



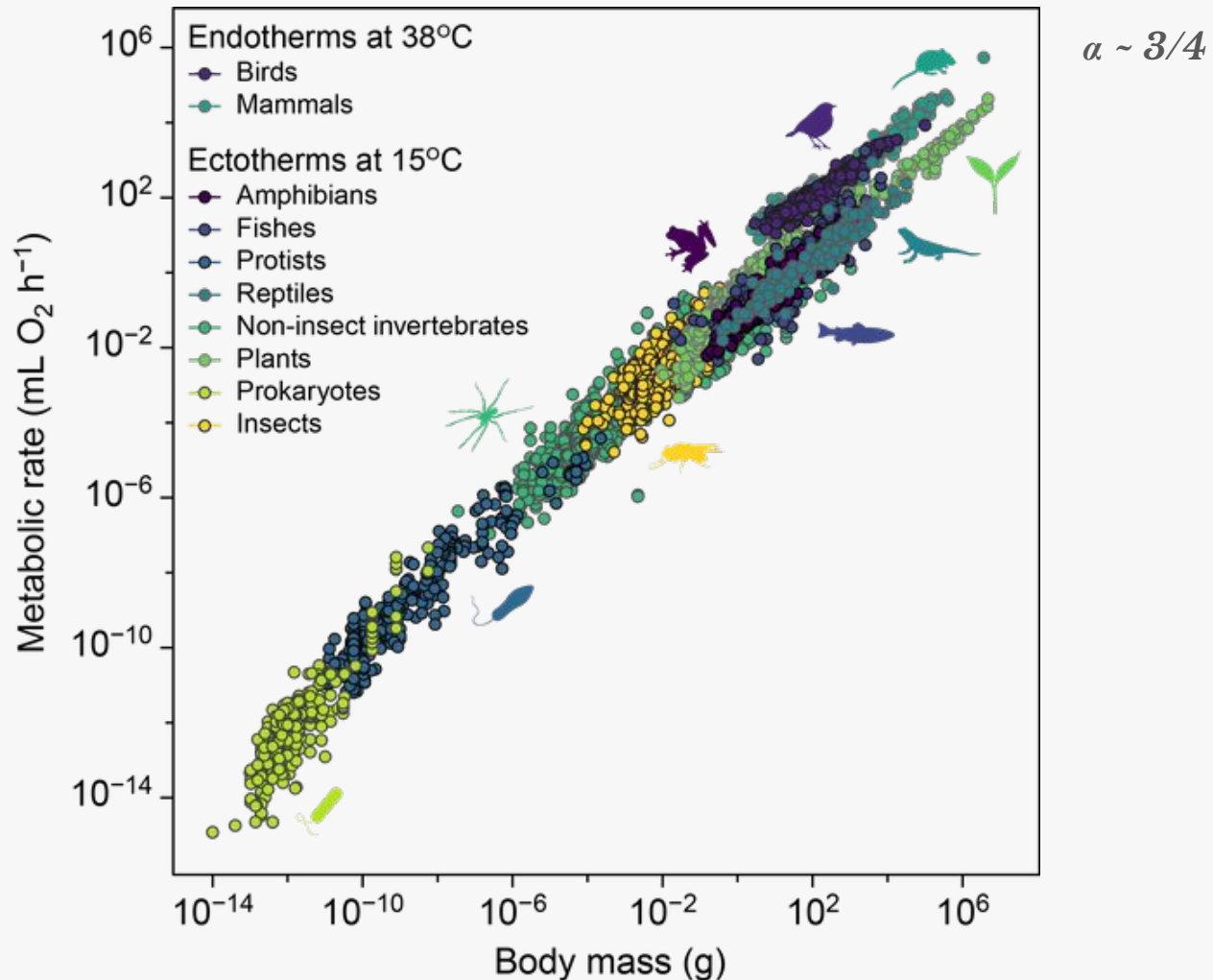
West, Brown, Enquist (1997)

# Alometría de masa corporal

- Modelo de West, Brown y Enquist (1997)
  - La estructura fractal de las redes de distribución de recursos en el organismo (e.g. sangre) determina el exponente de la alometría



# Relación masa corporal - tasa metabólica basal en diferentes organismos



# Alometría de masa corporal

$$B = aM^{3/4}$$
$$\log(B) = \log(a) + 3/4 M$$

- La tasa metabólica basal  $B$  escala con exponente **sub-lineal** con la masa corporal  $M$ , en todo el árbol de la vida
- Factores externos (e.g. temperatura) también influyen la relación

# Alometría de masa corporal

$$B = aM^{3/4}$$

- La tasa metabólica basal  $B$  escala con exponente **sub-lineal** con la masa corporal  $M$ , en todo el árbol de la vida
- Factores externos (e.g. temperatura) también influyen la relación

$$B = aM^{3/4} \cdot e^{-E/kT}$$

$E$  = energía de activación  
 $k$  = constante de Boltzmann  
 $T$  = temperatura

# Factores que influncian la alometría de masa corporal

## factores ecológicos

- temperatura
- otros: hábitat, dieta...

## ¿qué medimos?

BMR, SMR, FMR...

$$B = aM^{3/4}$$

variabilidad  
taxonómica

¿cómo lo medimos?







*Argentinosaurus sp.*  
~ 75000 kg masa corporal

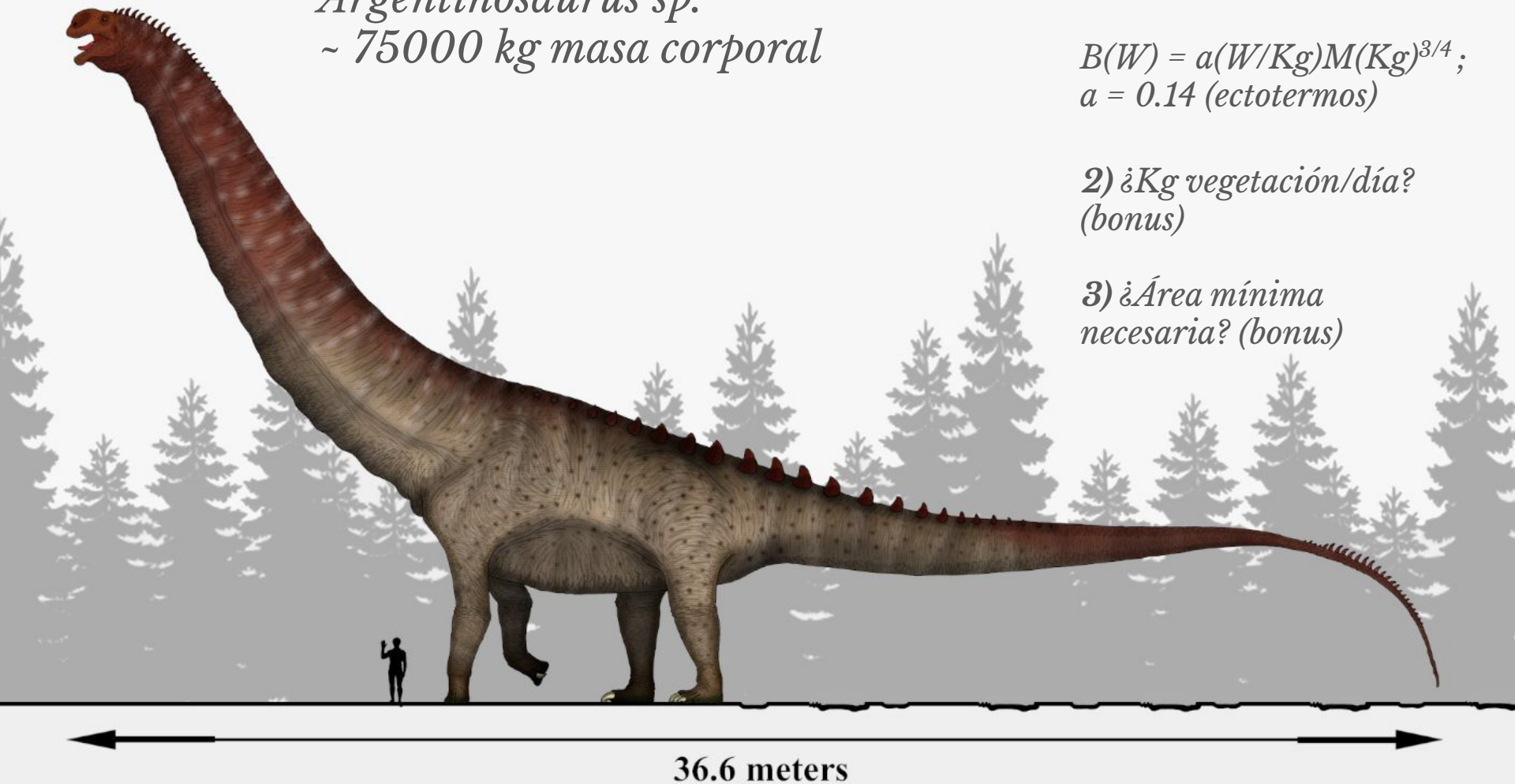
1) ¿BMR?

$$B(W) = a(W/\text{Kg})M(\text{Kg})^{3/4};$$

$a = 0.14$  (ectotermos)

2) ¿Kg vegetación/día?  
(bonus)

3) ¿Área mínima  
necesaria? (bonus)



36.6 meters

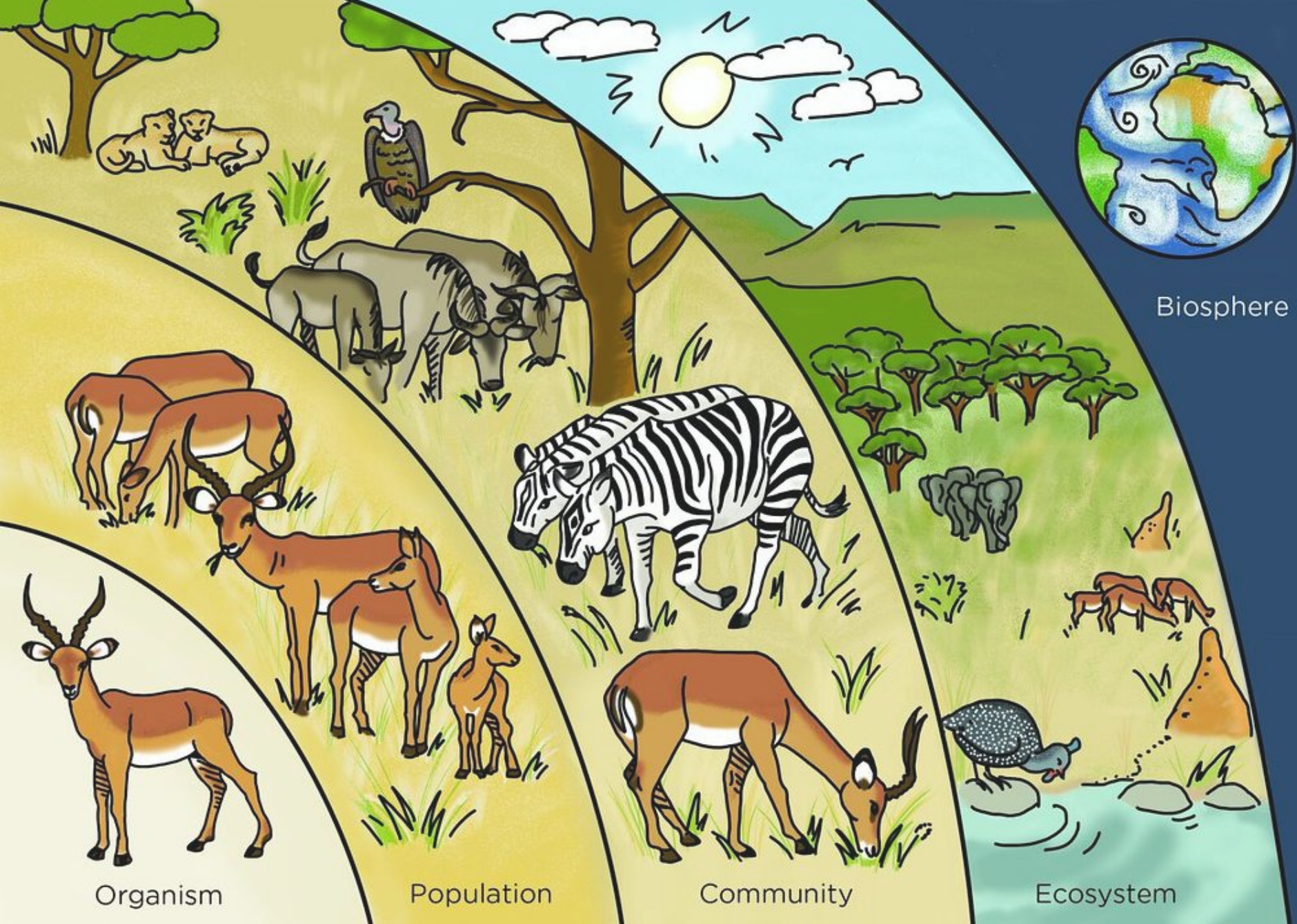
## Otras relaciones alométricas

pulsaciones por minuto  $\propto M^{-1/4}$

esperanza de vida  $\propto M^{1/4}$

tasa de crecimiento  $\propto M^{-1/4}$

altura (árbol)  $\propto M^{1/4}$



Biosphere

Organism

Population

Community

Ecosystem





Biosphere

## ¿Podemos generalizar a otros niveles de organización biológica?

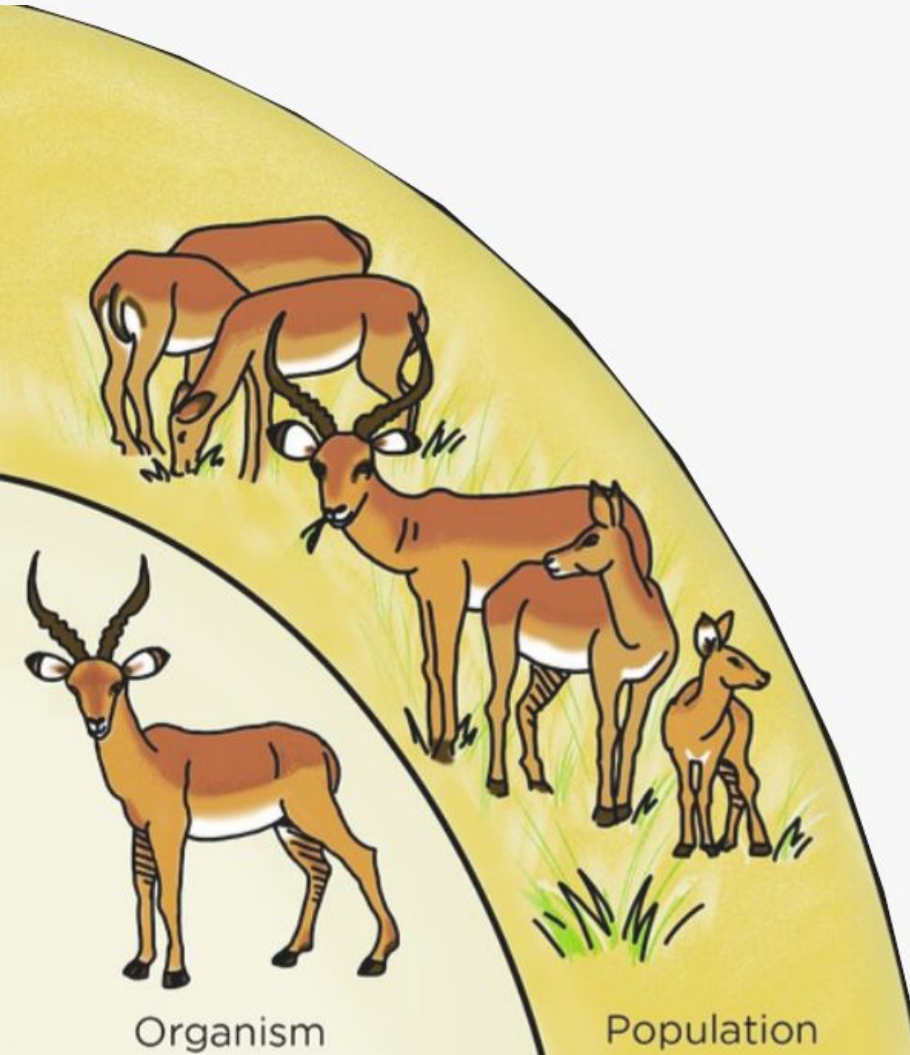
Organism

Population

Community

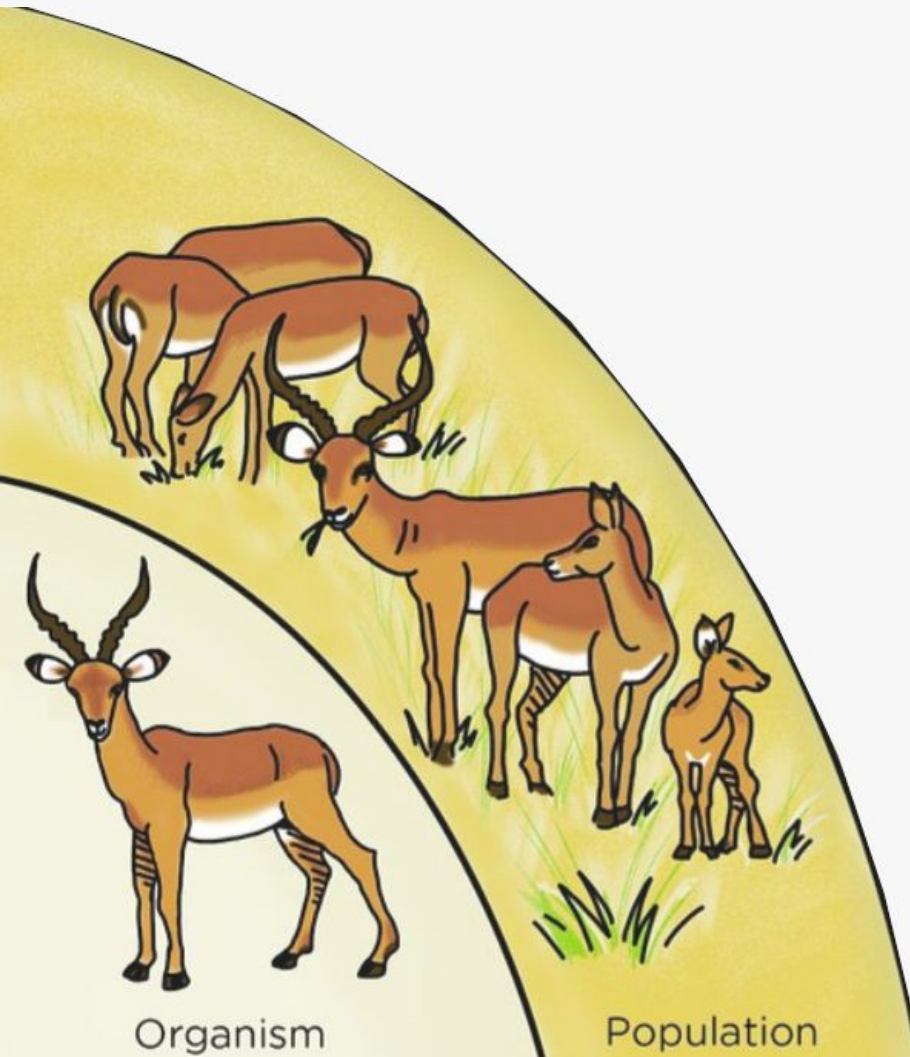
Ecosystem

# Alometrías poblacionales



- Las poblaciones se componen de un número variable de individuos
- ¿Máximo número de individuos en un área determinada?

# Alometrías poblacionales




- Las poblaciones se componen de un número variable de individuos
- ¿Máximo número de individuos en un área determinada?
- Proporcional a la cantidad de recursos dividida por el consumo de recursos de un individuo



$$N \propto R/U$$

N = número de individuos por unidad de área  
R = recursos disponibles por unidad de área  
U = consumo medio de recursos por individuo





*¿qué concepto ecológico está relacionado con esta idea?*

$$N \propto R/U$$

N = número de individuos por unidad de área  
R = recursos disponibles por unidad de área  
U = consumo medio de recursos por individuo



# Alometrías poblacionales

$$N \propto R/U$$

$$U \approx \textit{Tasa metabólica } B$$

$$B = aM^{3/4}$$

R = recursos disponibles por unidad de área  
a = constante de normalización

# Alometrías poblacionales

$$N \propto R/U$$

$$U \approx \textit{Tasa metabólica } B$$

$$B = aM^{3/4}$$

}

$$N \propto R / aM^{3/4};$$

$$N \propto c / M^{3/4};$$

$$N \propto cM^{-3/4}$$

R = recursos disponibles por unidad de área

a = constante de normalización

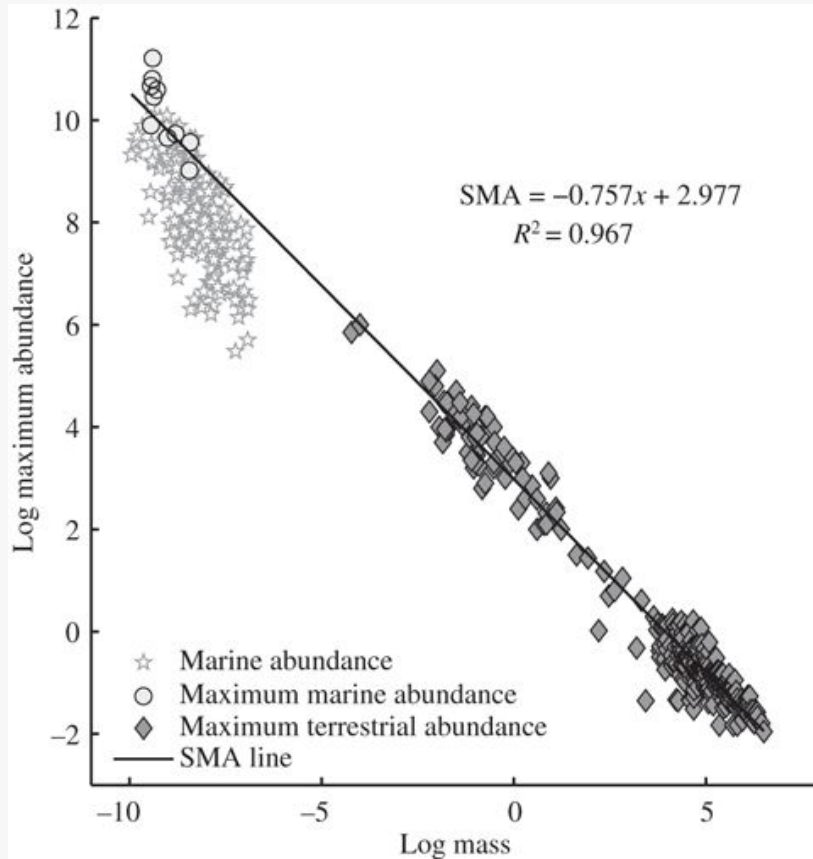
c = R/a

# Alometrías poblacionales

$$N \propto cM^{-3/4}$$

- La densidad poblacional  $N$  escala negativamente con exponente sub-lineal con la masa corporal  $M$

# Alometrías poblacionales

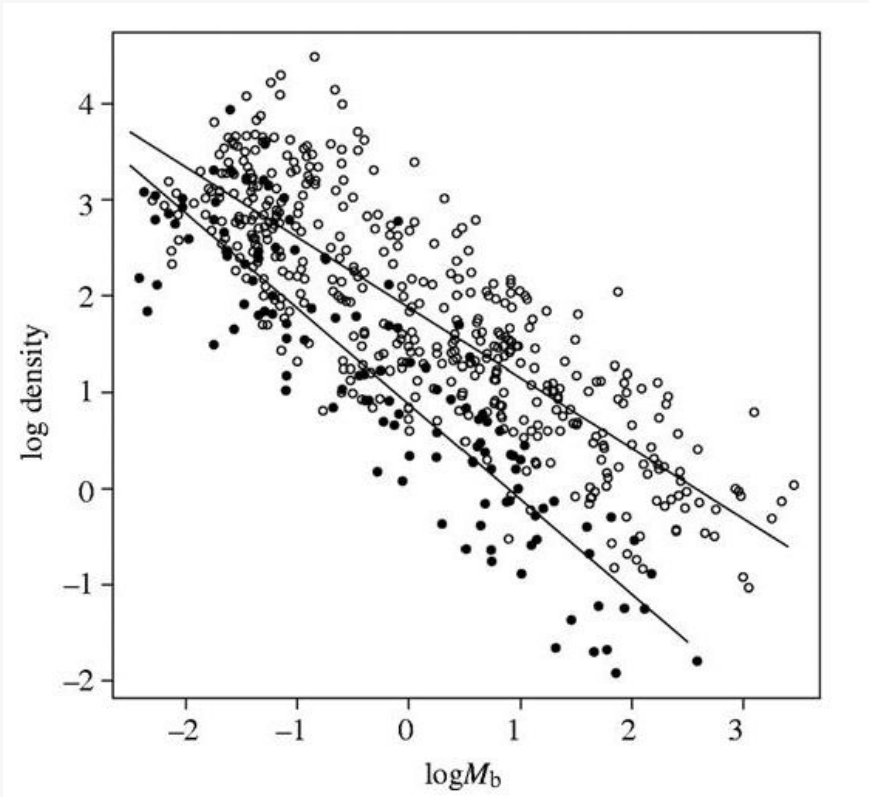


Price *et al.* (2010)

En plantas

$$\alpha \approx -3/4$$

# Alometrías poblacionales



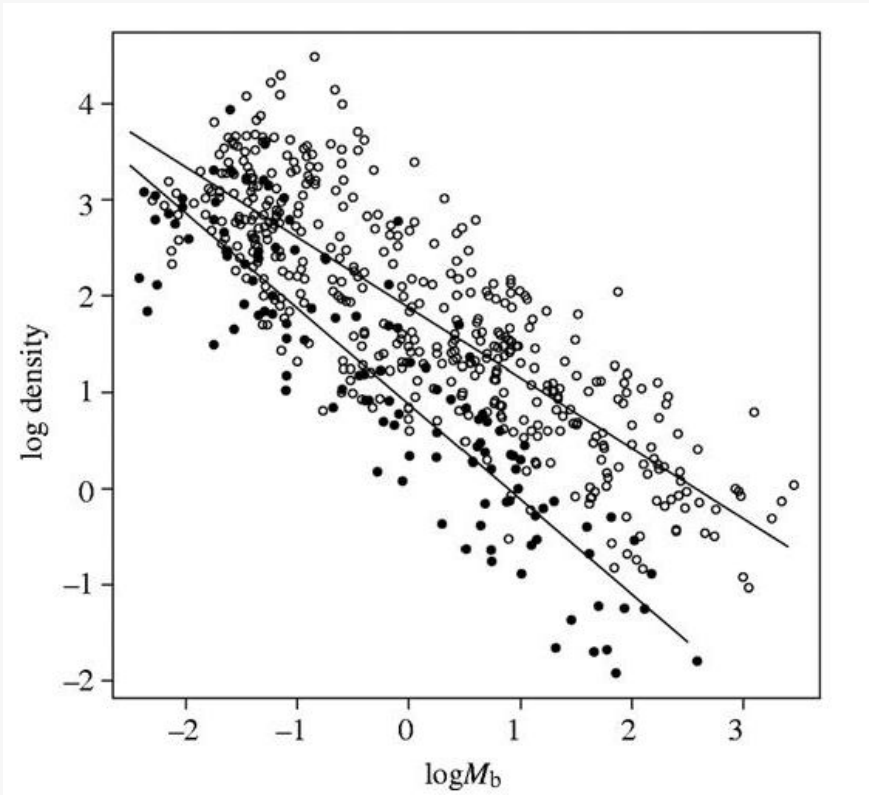
Marquet *et al.* (2005)

En mamíferos

consumidores primarios (blanco):  
 $\alpha \approx -3/4$

consumidores secundarios  
(negro):  $\alpha \approx -1$

# Alometrías poblacionales



Marquet *et al.* (2005)

En mamíferos

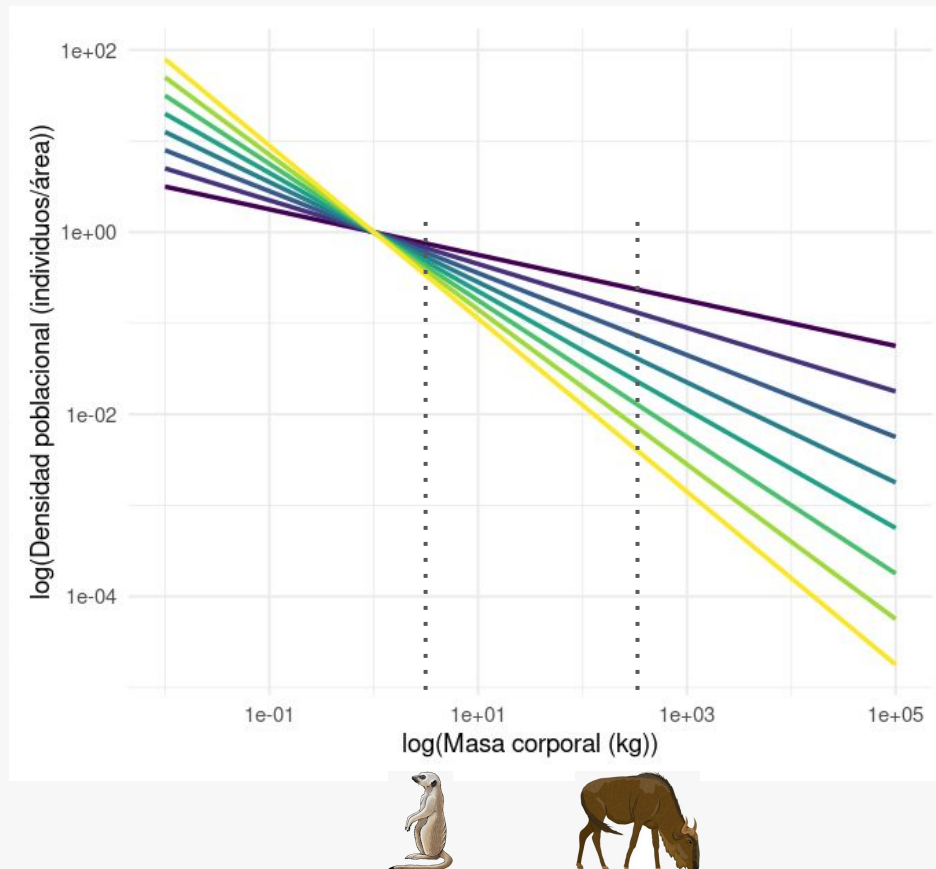
consumidores primarios (blanco):  
 $\alpha \approx -3/4$

consumidores secundarios  
(negro):  $\alpha \approx -1$

Otros estudios:  $\alpha \approx -2/3$  o más  
cercano a cero en otros grupos  
(e.g. aves)

# Alometrías poblacionales

La diferencia entre densidades poblacionales de especies de menor a mayor tamaño es mayor para exponentes más negativos



Exponente alométrico

- $\beta = -0.25$
- $\beta = -0.35$
- $\beta = -0.45$
- $\beta = -0.55$
- $\beta = -0.65$
- $\beta = -0.75$
- $\beta = -0.85$
- $\beta = -0.95$

[link a código R](#)

# Alometrías poblacionales

¿Podemos estimar el gasto energético total de una población cualquiera?



# Alometrías poblacionales

¿Podemos estimar el gasto energético total de una población cualquiera?

Gasto energético de una población:  $N \cdot B$

# Alometrías poblacionales

¿Podemos estimar el gasto energético total de una población cualquiera?

Gasto energético de una población:  $N \cdot B$

$$\left. \begin{array}{l} B \propto aM^{3/4} \\ N \propto cM^{-3/4} \end{array} \right\}$$

# Alometrías poblacionales

¿Podemos estimar el gasto energético total de una población cualquiera?

Gasto energético de una población:  $N \cdot B$

$$\left. \begin{array}{l} B \propto aM^{3/4} \\ N \propto cM^{-3/4} \end{array} \right\} N \cdot B \propto d \cdot M^{3/4} \cdot M^{-3/4}$$

# Alometrías poblacionales

¿Podemos estimar el gasto energético total de una población cualquiera?

Gasto energético de una población:  $N \cdot B$

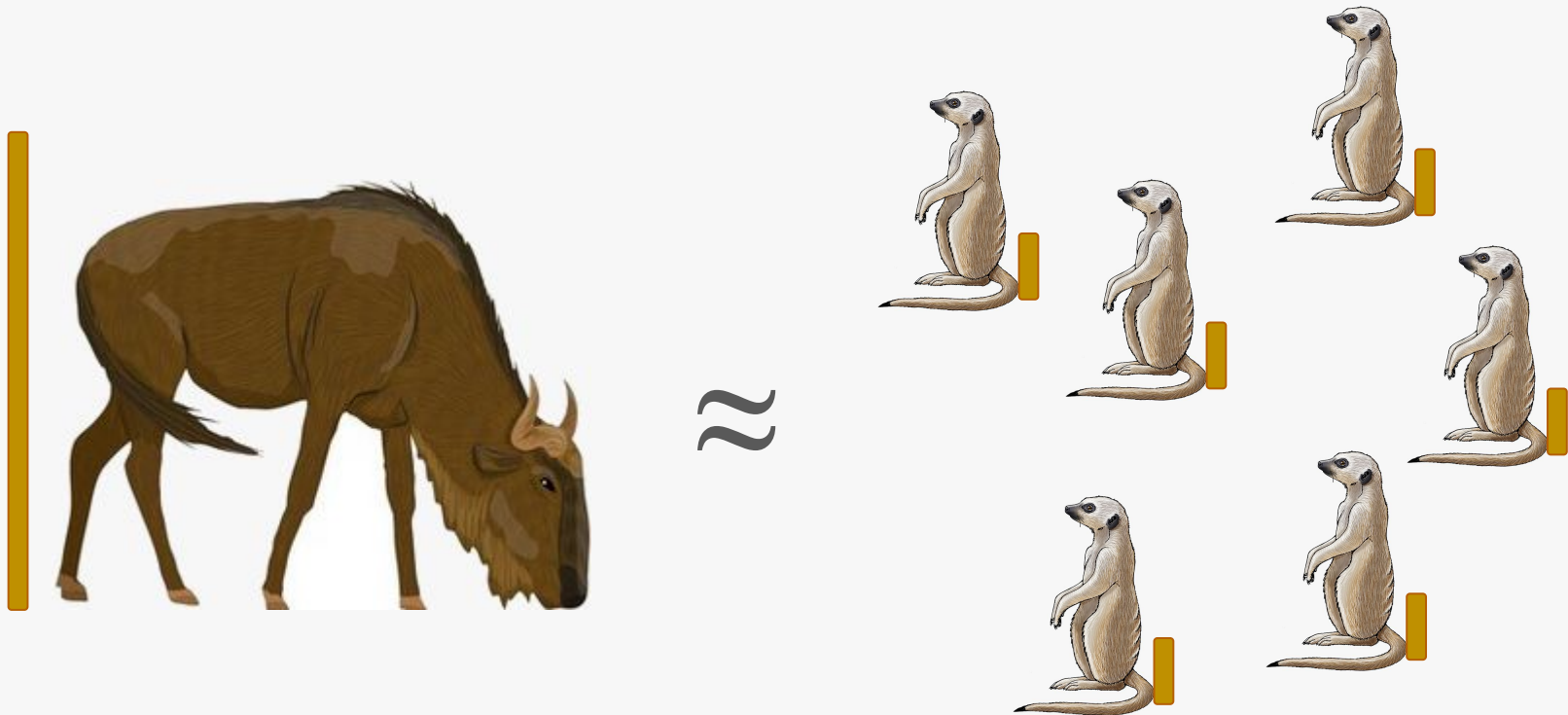
$$\left. \begin{array}{l} B \propto aM^{3/4} \\ N \propto cM^{-3/4} \end{array} \right\} \begin{array}{l} N \cdot B \propto d \cdot M^{3/4} \cdot M^{-3/4}; \\ N \cdot B \propto M^0 \end{array}$$

# Alometrías poblacionales

$$N \cdot B \propto M^0$$

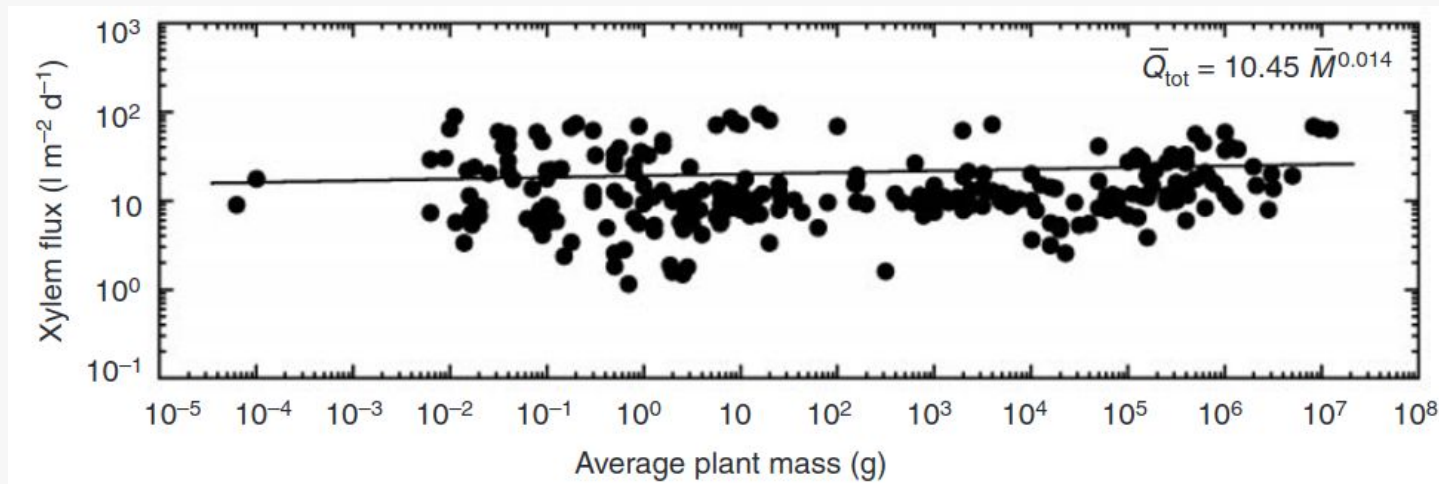
- El consumo total de energía de una población  $N \cdot B$  debería ser, para un amplio rango de especies, invariante respecto a la masa corporal  $M$
- *Regla de equivalencia energética* (Damuth 1987)

## *Regla de equivalencia energética*



# Regla de equivalencia energética

$$N \cdot B \propto d \cdot M^{-\beta} \cdot M^{3/4}$$



*“Dado que la alometría tiene un exponente estadísticamente indistinguible de cero, la productividad de los ecosistemas estudiados es independiente del tamaño de los organismos vegetales” (Enquist et al. 1998)*

# Regla de equivalencia energética

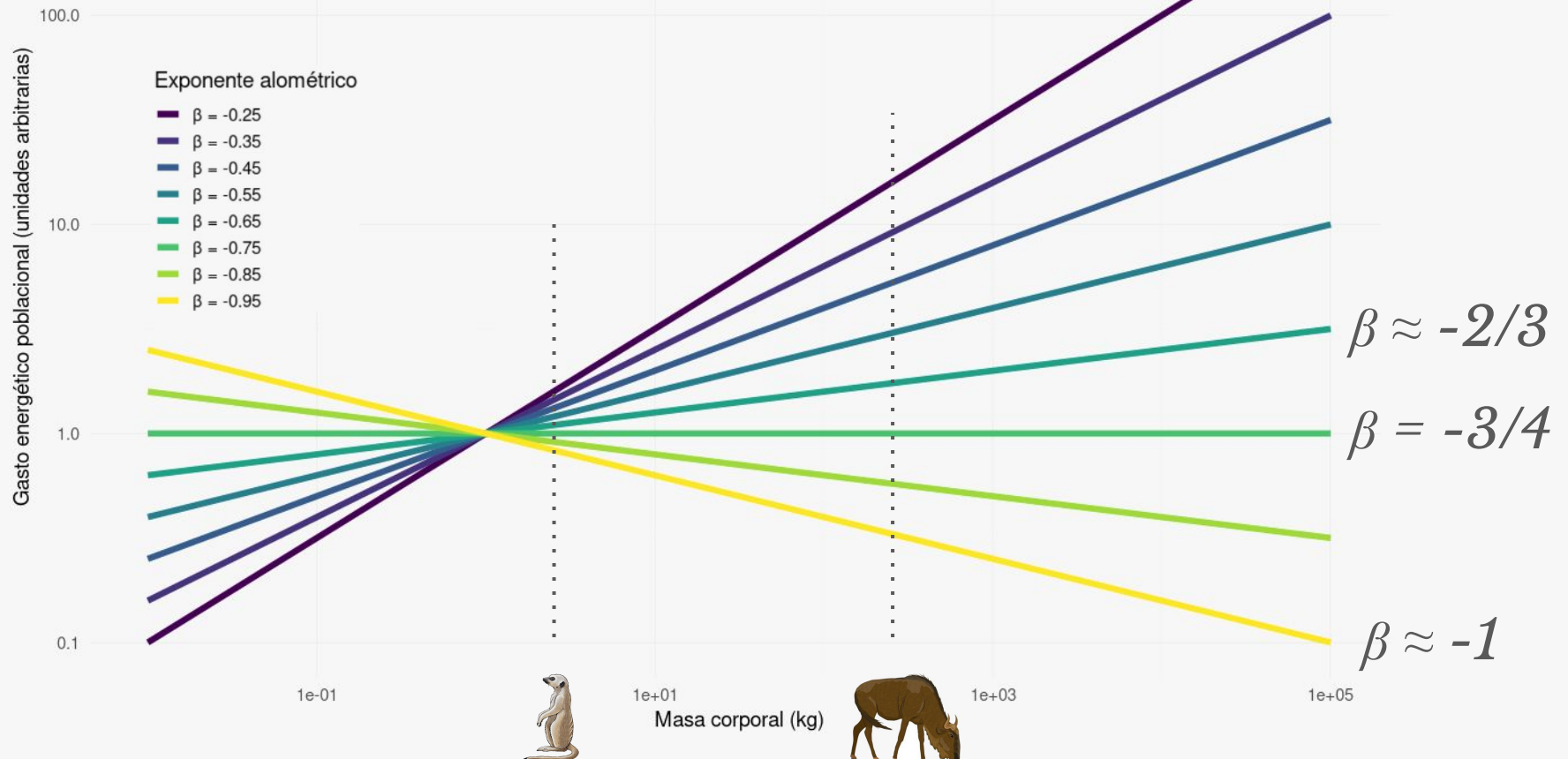
- La evidencia actual no es conclusiva, pero en general existen muchas desviaciones respecto a las predicciones
- Dependiente de muchos factores externos y asunciones
  - Teóricas: consumo de recursos y patrones de gasto energético comparable entre taxones, no considera interacciones bióticas
  - Prácticas: dificultades de cuantificación en diferentes contextos ecológicos



# Regla de equivalencia energética

[link a código R](#)

$$N \cdot B \propto d \cdot M^{-\beta} \cdot M^{3/4}$$



# Puntos clave (1)

- Las alometrías son relaciones no lineales entre parámetros ecológicos
- La alometría fundamental a nivel de individuo relaciona masa corporal y tasa metabólica en reposo:

$$B = aM^{3/4}$$

- El exponente de la relación se mantiene de manera aproximada en una gran diversidad de organismos
- Diversos factores pueden alterar esta relación general, especialmente la temperatura ambiental

## Puntos clave (2)

- A nivel de poblaciones ecológicas, la densidad poblacional muestra una alometría negativa con la masa corporal, dada una capacidad de carga determinada

$$N \propto cM^{-3/4}$$

- La variabilidad en el exponente de esta relación es aún mayor que a nivel individual
- A partir de esta relación se puede derivar el gasto energético total de una población, y su relación con la masa corporal media. Si los exponentes alométricos se ajustan a  $3/4$  y  $-3/4$ , se cumple la *regla de equivalencia energética*

$$N \cdot B \propto M^0$$

- Esta regla general se ha mostrado que no se cumple tan ampliamente, con una serie de limitaciones importantes - es una línea de investigación activa hoy día

## Puntos clave (3)

- Estas relaciones alométricas son la base de la *Teoría Metabólica de la Ecología*
- Es una teoría general, basada en principios fundamentales de la física, la química y la biología
- Predice patrones ecológicos a nivel de individuos y poblaciones, además de otras extensiones
- “[...] *desviaciones de las predicciones teóricas permiten evaluar la importancia de factores diferentes al tamaño corporal y la temperatura en los procesos biológicos*” (Marquet et al. 2014)
- “*La Teoría Metabólica de la Ecología proporciona un marco de referencia común para comparar patrones de organismos que, a pesar de acarrear historias evolutivas y contextos ecológicos variables, obedecen unos principios fundamentales comunes ligados al metabolismo, la masa corporal, y la temperatura.*” (Marquet et al. 2014)

1) ¿BMR?

$$B(W) = a(W/Kg)M(Kg)^{3/4};$$

$a = 0.14$  (ectotermos)

$$B = 634,5 W \approx 13100 \text{ kcal/día}$$
$$B_{FMR} \approx 3 * B = 1903,5 W \approx 40000 \text{ kcal/día}$$

2) ¿Kg vegetación/día? (bonus)

$$1903,5 J/s * 86400 s/d \approx 164 \text{ MJ/d}$$

contenido energético vegetación  $\approx 8 \text{ MJ/kg}$

$$I_a = 164 \text{ MJ/d} / 8 \text{ MJ/kg} = 20,5 \text{ kg/d}$$

3) ¿Área mínima necesaria? (bonus)

$$NPP_a = 1 \text{ kg/m}^2/\text{año} \approx 0,00274 \text{ kg/m}^2/\text{día}$$
$$NPP_{ac} = NPP_a * 0,25 * 0,3 \approx 0,0002055 \text{ kg/m}^2/\text{día}$$

$$HR_a = I_a (\text{kg/d}) / NPP_{ac} (\text{kg/m}^2/\text{d}) =$$

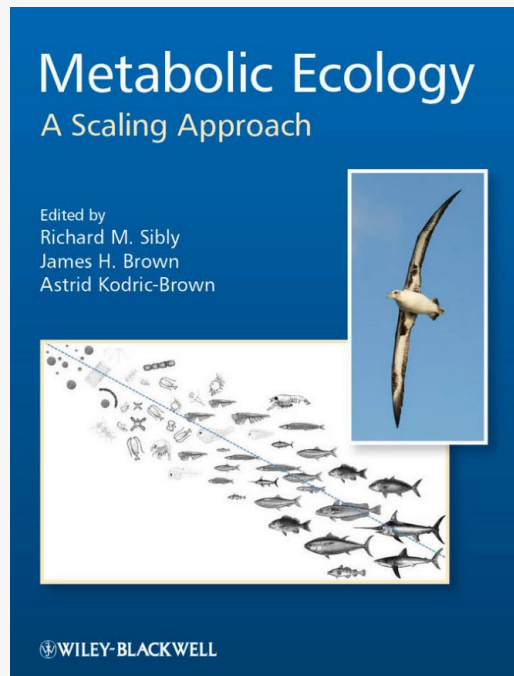
$$20,5 / 0,0002055 \approx 99756 \text{ m}^2 \approx 0,1 \text{ km}^2$$

¿Qué simplificaciones hemos asumido?

36.6 meters

# Lecturas adicionales

[https://github.com/garciacallejas/UB\\_teaching\\_resources/tree/master/UB\\_Ecology/UT3/resources](https://github.com/garciacallejas/UB_teaching_resources/tree/master/UB_Ecology/UT3/resources)



- Capítulos 2, 7, 11
  - ¿diferencias entre endo/ectotermos?
  - ¿número de especies y diversificación?

## Siguiente clase

- Transferencia de energía entre organismos: interacciones tróficas y eficiencias de conversión
- Control de abundancias: Cascadas tróficas

# Referencias

- Damuth, J. (1987). Interspecific allometry of population density in mammals and other animals: the independence of body mass and population energy-use. *Biological Journal of the Linnean Society*, 31(3), 193-246.
- English, H. M., Börger, L., Kane, A., & Ciuti, S. (2024). Advances in biologging can identify nuanced energetic costs and gains in predators. *Movement Ecology*, 12(1), 7.
- Enquist, B. J., Brown, J. H., & West, G. B. (1998). Allometric scaling of plant energetics and population density. *Nature*, 395(6698), 163-165.
- Marquet, P. A., Quiñones, R. A., Abades, S., Labra, F., Tognelli, M., Arim, M., & Rivadeneira, M. (2005). Scaling and power-laws in ecological systems. *Journal of Experimental Biology*, 208(9), 1749-1769.
- Marquet, P. A., Allen, A. P., Brown, J. H., Dunne, J. A., Enquist, B. J., Gillooly, J. F., ... & West, G. B. (2014). On theory in ecology. *BioScience*, 64(8), 701-710.
- Price, C. A., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Weitz, J. S., & Niklas, K. J. (2010). The metabolic theory of ecology: prospects and challenges for plant biology. *New Phytologist*, 188(3), 696-710.
- Sibly, R. M., Brown, J. H., & Kodric-Brown, A. (Eds.). (2012). *Metabolic ecology: a scaling approach*. John Wiley & Sons.
- West, G. B., Brown, J. H., & Enquist, B. J. (1997). A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*, 276(5309), 122-126.