



**CURSO**

# **BIOLOGÍA ANIMAL**

**LICENCIATURA EN GESTIÓN  
AMBIENTAL/CICLOS INICIALES  
OPTATIVOS, 2022**

A photograph of a turtle, likely a species of pond turtle, resting on a rock in a pond. The water is greenish-brown, and there are lily pads visible. The turtle's shell is dark with some lighter patterns, and its head and front legs are visible. The text 'Temperatura, metabolismo y energía' is overlaid in white, bold, serif font.

# Temperatura, metabolismo y energía

Lucia Ziegler

La regulación de la temperatura es interesante por sí misma, pero también porque pone de relieve las relaciones entre los procesos a distintos niveles

los mecanismos de regulación de la temperatura están estrechamente relacionados con la osmorregulación y el equilibrio hídrico, la respiración, el equilibrio del pH, el tamaño corporal y la ecología (uso del hábitat, distrib. geográfica).

# Temperatura y capacidad calorífica

Temperatura y calor no son lo mismo.

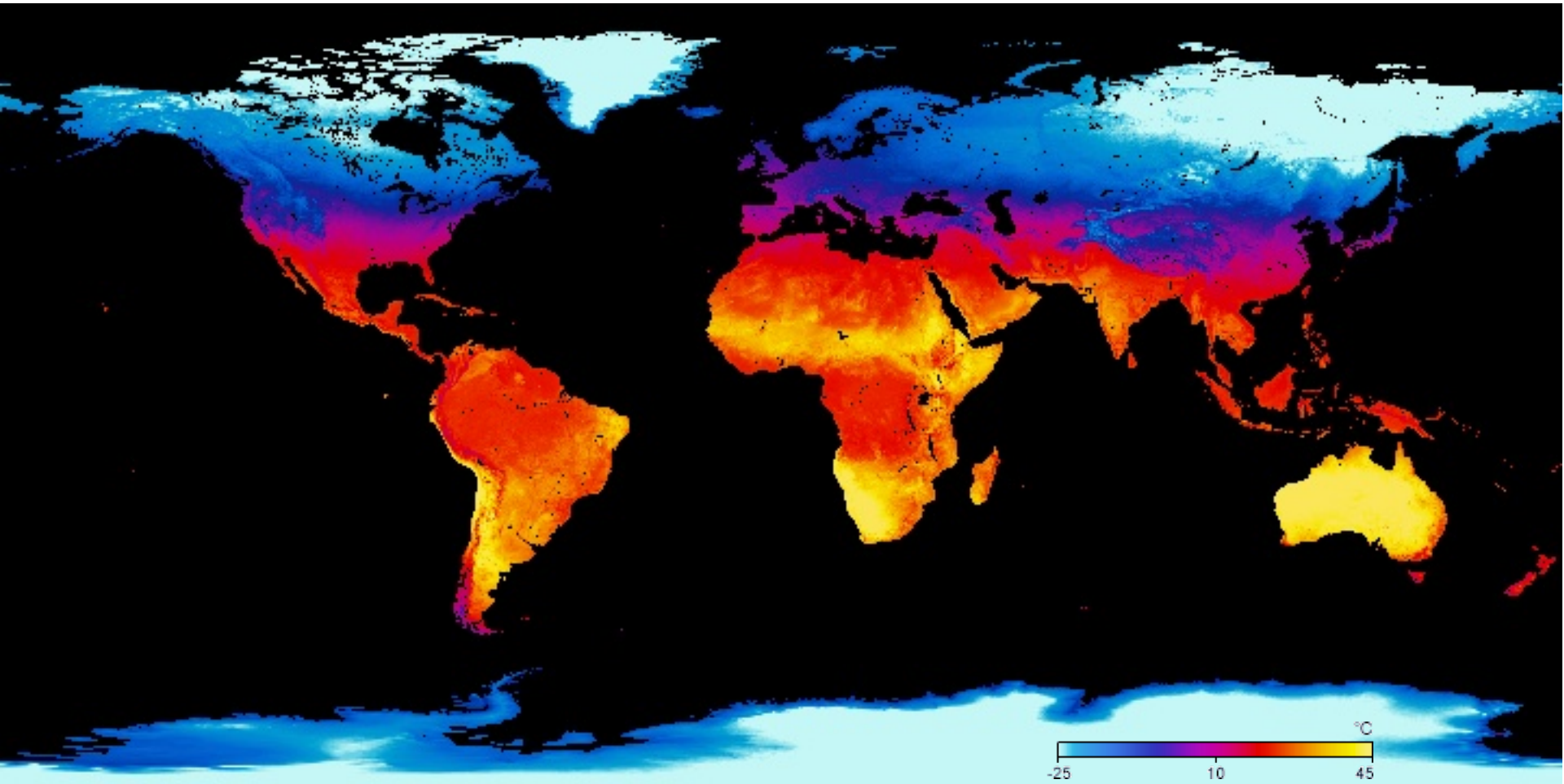
El calor es una forma de energía (J o cal).

**Al añadir (o quitar)** una cantidad determinada de **calor** a un objeto, su **temperatura sube (o baja)** en una cantidad que depende de su capacidad calorífica específica.

- Capacidad calorífica alta: absorbe el calor con poco cambio de temperatura
- Baja capacidad calorífica: absorbe el calor con un mayor cambio de temperatura.

La capacidad térmica del agua es mucho mayor que la del aire.

se necesita más calor (energía) para elevar un volumen determinado de agua en  $1^{\circ}\text{C}$  que para elevar el mismo volumen de aire en  $1^{\circ}\text{C}$ .



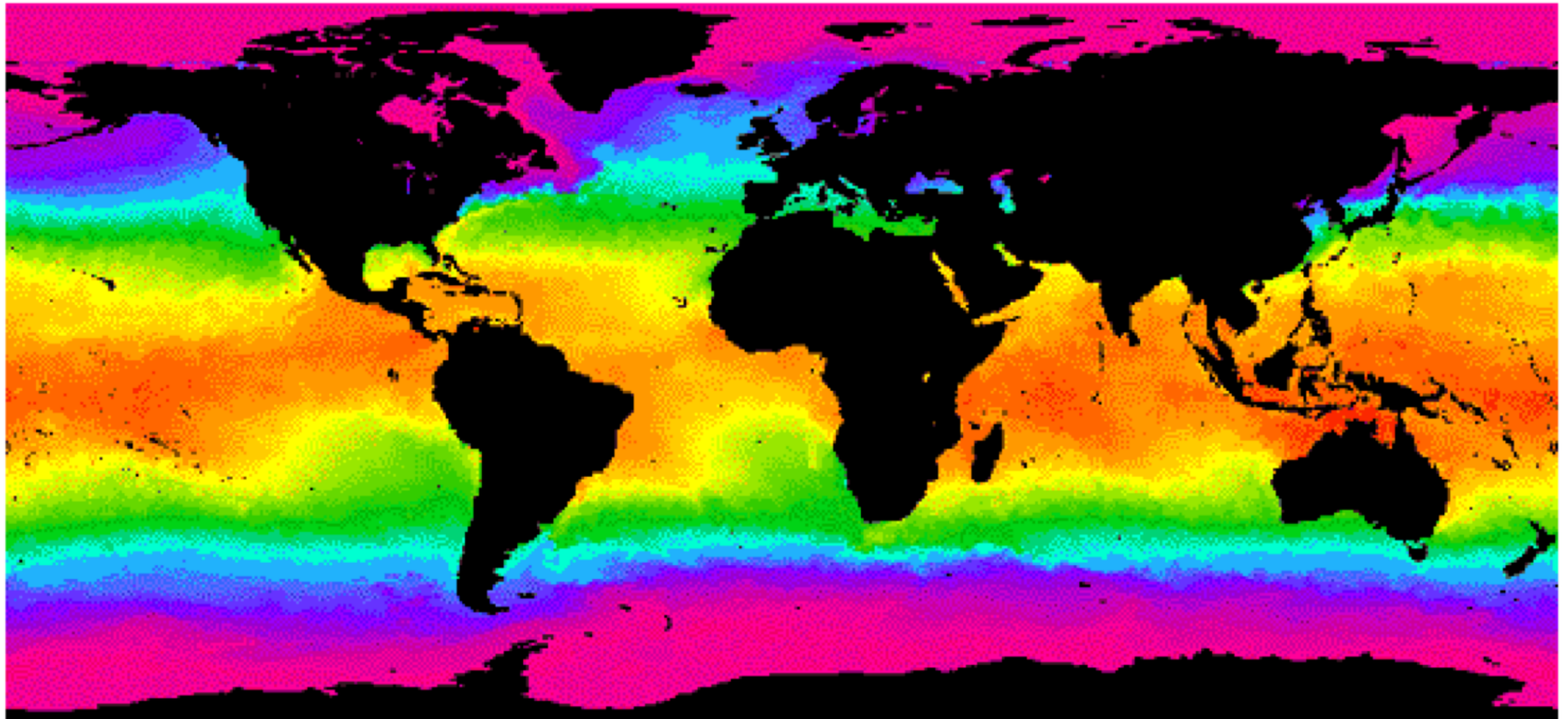
### ***Temperatura ambiente ( $T_a$ )***

Variable clave en la estrategia térmica de los organismos

Los ambientes presentan variación espacial y temporal en temperatura...

...y los organismos deben coexistir con tal variación

# Sea Surface Temperature



# Temperatura

- Afecta tasas de reacciones bioquímicas y de procesos físicos (difusión, ósmosis)
- Conformación y función de proteínas (enzimas)
- Afecta la tasa metabólica



**El rango de temperaturas en los diferentes ambientes excede el rango compatible con la vida**





## *Estrategia térmica de un organismo:*

Combinación de respuestas comportamentales, fisiológicas y bioquímicas que aseguran que la temperatura corporal ( $T_b$ ) se encuentre dentro de límites aceptables



Complejidad del ambiente térmico

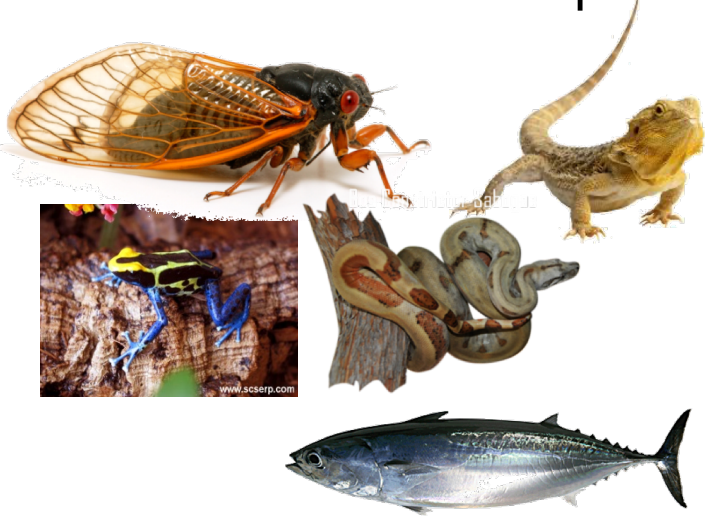
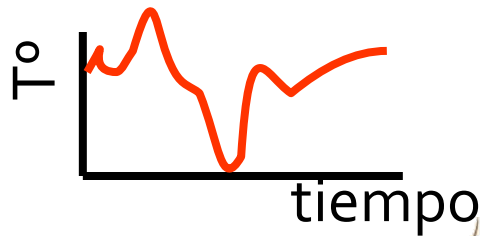


Patrones de control del intercambio térmico pueden ser muy elaborados

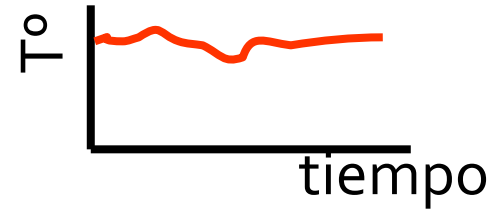
# Fuente de calor y regulación de la temperatura: un compromiso

En biología térmica existen 2 grandes dicotomías, una basada en el tipo de regulación de la temperatura, y la otra en la fuente de calor

## Poiquilotermo



## Homeotermo



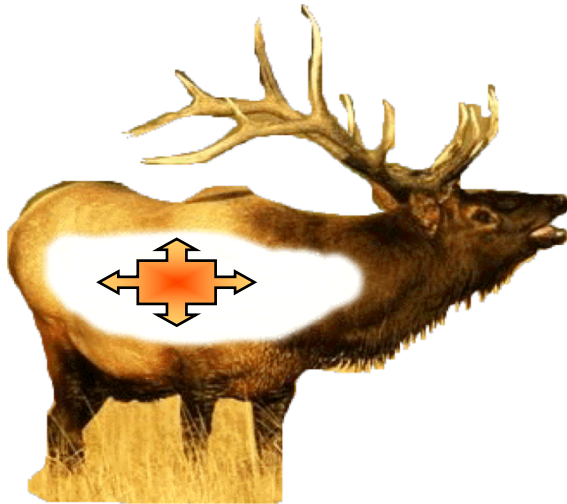
## *Regulación de la temperatura corporal:*

- ❑ Poiquiloterms = termoconformadores. Permiten que la temperatura interna fluctúe.
- ❑ Homeoterms = termorreguladores. Mantienen una temperatura interna relativamente constante.

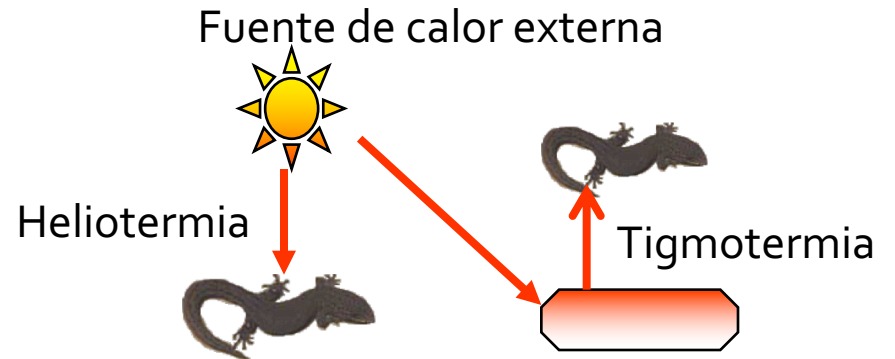
Estas definiciones que resaltan el patrón observado (ecofisiológico), no refieren al mecanismo que lo está generando...

# Cowles (1962)

## Endotermo



## Ectotermo



**Resaltan el mecanismo y no (solo) la condición!!!**

## Aves + Mamíferos



## El resto...



## *Fuente de calor :*

- ❑ Endotermos: Producen gran parte del calor corporal mediante procesos metabólicos. Pero también ganan o pierden calor del entorno mediante procesos pasivos (no metabólicos). Pueden mantener la temperatura corporal hasta 30°C por encima de la temperatura ambiente, de forma prolongada.
- ❑ Ectotermos: Ganan y pierden calor corporal principalmente del entorno. La temperatura corporal sigue la temperatura ambiente.

La termorregulación es el proceso por el cual los animales mantienen su temperatura interna dentro de un rango tolerable.

El metabolismo interno y el ambiente externo son las fuentes de calor para la termorregulación.

***La endotermia y la ectotermia no son estrategias térmicas mutuamente excluyentes***



Las dos dicotomías no son completamente independientes...

*Es mejor considerar la fuente y la regulación por separado.*

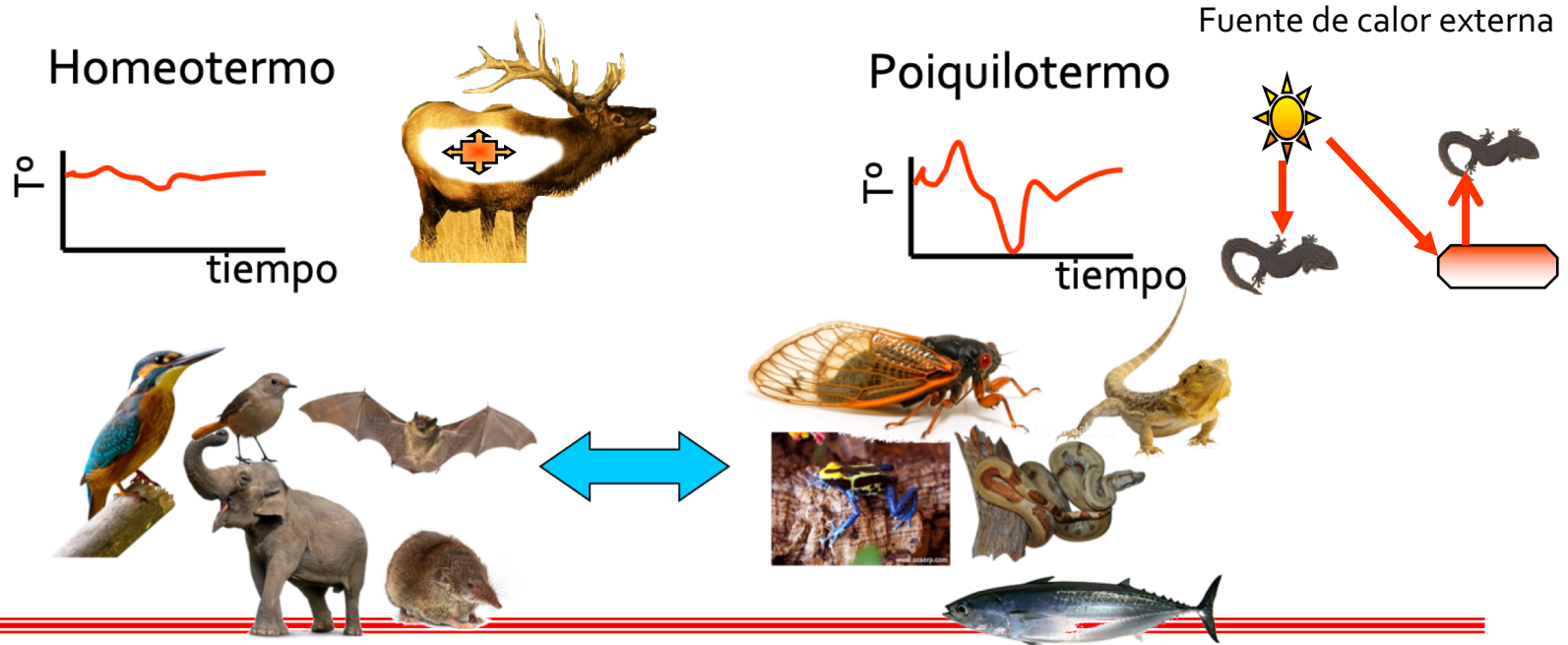
Los ectotermos pueden utilizar la termorregulación comportamental para mantener constante la temperatura corporal frente a los cambios en la temperatura ambiental, por lo que la ectotermia no siempre va unida a la poiquilothermia.

Los endotermos a veces permiten cambios drásticos en la temperatura corporal (por ejemplo, los mamíferos que hibernan), por lo que endotermia no siempre implica homeotermia.

Estas dicotomías son útiles, pero son simplificaciones de la realidad

	Endotermia	Ectotermia
Homeotermia	<p>La mayoría de las aves y mamíferos.</p> <p>Los atunes y otros peces pelágicos de gran tamaño con regulación de temperatura similar</p>	<p>Algunos reptiles tropicales.</p> <p>Posiblemente los dinosaurios.</p> <p>Animales que viven a aguas profundas (marinos y de agua dulce)</p>
Poiquilotermia	<p>Aves y mamíferos que toleran variación en su temp. corporal durante ciertos períodos de tiempo (tamaño pequeño y mediano). Algunos invertebrados</p>	<p>La gran mayoría de invertebrados, peces, anfibios y reptiles</p>

# Heterotermia: temporal o regional



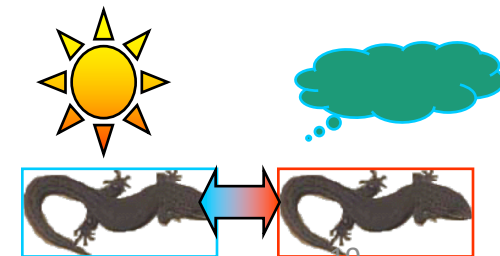
Organismos en ambientes constantes...



Otros en condiciones extremas...



o a través de comportamientos



# Condiciones intermedias

La forma de regulación de la temp. corporal de un animal puede cambiar:

- ❑ En el tiempo (heterotermia temporal)
- ❑ Entre diferentes regiones de su cuerpo (heterotermia regional)

# Heterotermia temporal

Un homeotermo puede variar su temperatura en forma:

- ❑ Circadiana
  - ❑ Torpor
  
- ❑ Estacional
  - ❑ Ibernación (durante el invierno)
  - ❑ Estivación (durante el verano)



1) ***Endotermos pequeños***, reducen su metabolismo Estacional o diariamente en respuesta a bajas temperaturas, disponibilidad de comida o agua entrando en "**torpor**" reduciendo la actividad metabólica y T corporal ⇒ HETEROTERMIA

2) Muchas ***crías de aves y mamíferos*** son ectotermos conformes

Dependiendo de la especie toma 1-3 semanas el desarrollo de la Endotermia desde el nacimiento

3) La rata desnuda opera prácticamente como ectotermo



4) El equidna presenta baja capacidad de mantener la homeotermia. Se refugia en cuevas que mantienen T estable



# Heterotermia temporal

Un homeotermo puede variar su temperatura en forma:

- ❑ Circadiana
  - ❑ Torpor
  
- ❑ Estacional
  - ❑ Hibernación (durante el invierno)
  - ❑ Estivación (durante el verano)

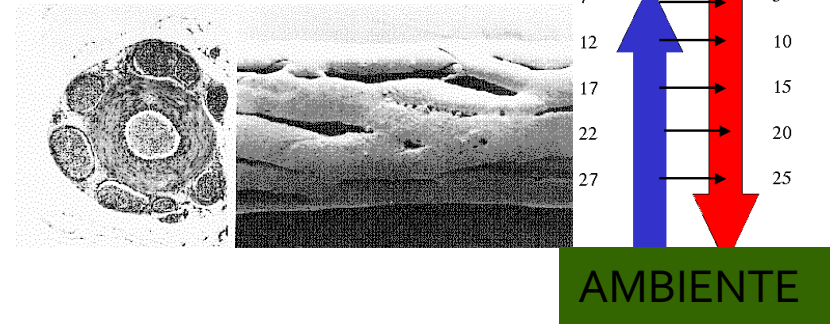
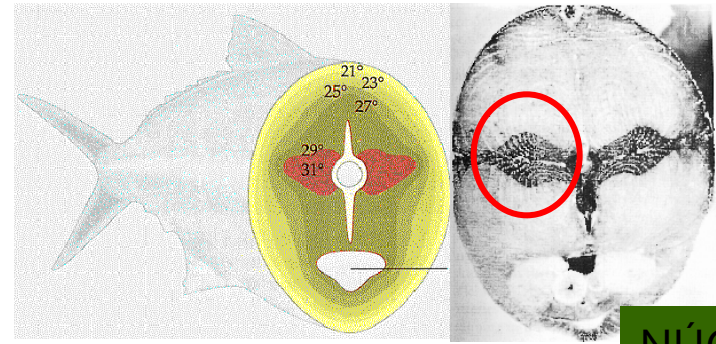
Al relajar el control de su temperatura corporal por cualquiera de estos mecanismos, los **homeotermos** entran esencialmente en un estado de **poiquilotermia**

**Peces** endotermos con masas de músculo lateral cargadas de mioglobina → suministro aeróbico. Endotermos: masas próximas a la columna vertebral, en ectotermos debajo de la piel.

Gran tamaño corporal

Altas tasas metabólicas

Sistemas de circulación “contracorriente” (intercambio de calor)

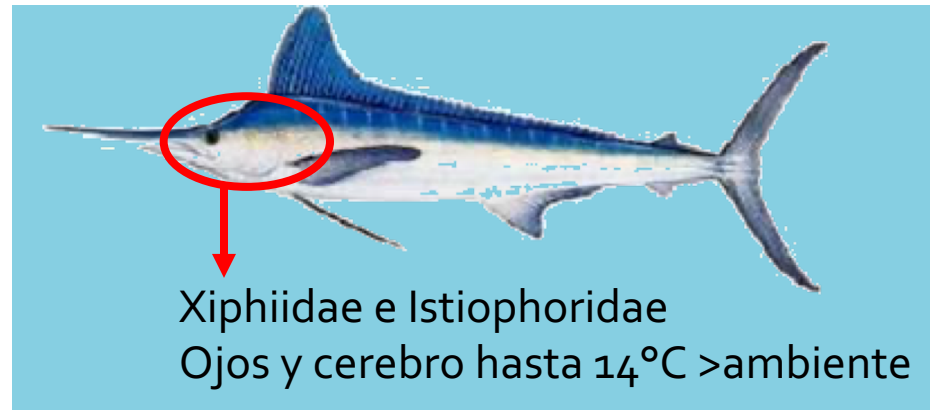


99% del calor en arterias puede transmitirse a venas

*Sistemas contracorriente en tiburones, atunes y rayas sugiere algún grado de endotermia*



Tiburones Laminidae también tienen hígado, estómago, válvula espiral y cerebro calientes por generación local ( $>5-8^{\circ}$ ). Similar patrón en atunes.



**Evolución repetida de endotermia parcial o regional en distintos grupos de peces**

# Endotermia Facultativa

- Animales típicamente ectotérmicos pueden “encender” un mecanismo generador de calor



El cambio de ectotermia a endotermia ocurre previo a la puesta de huevos

Hembras incubando: 28 – 33°C  
Hembras “no tiritantes”: 20-31°C

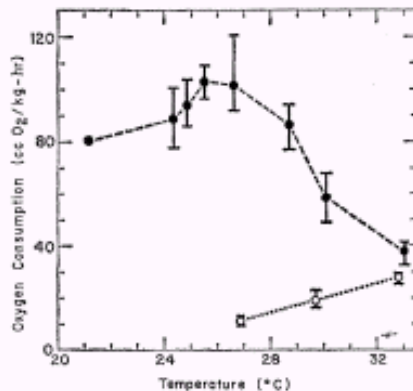


Fig. 1. Oxygen consumption of a *Python molurus* at different ambient temperatures. Upper curve: animal during brooding. Lower curve: the same animal during non-brooding periods. Vertical lines, range; circles, means.

694

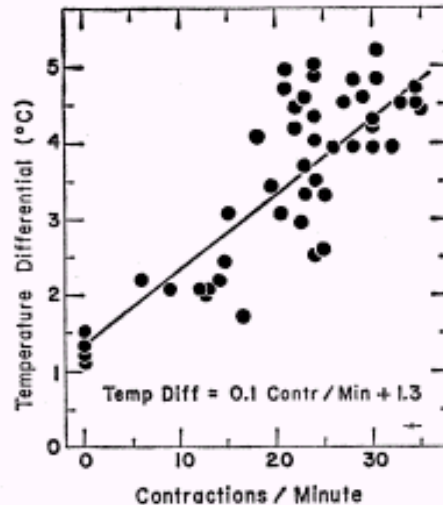


Fig. 3. Correlation of contraction rate with temperature differential in a brooding Indian python.

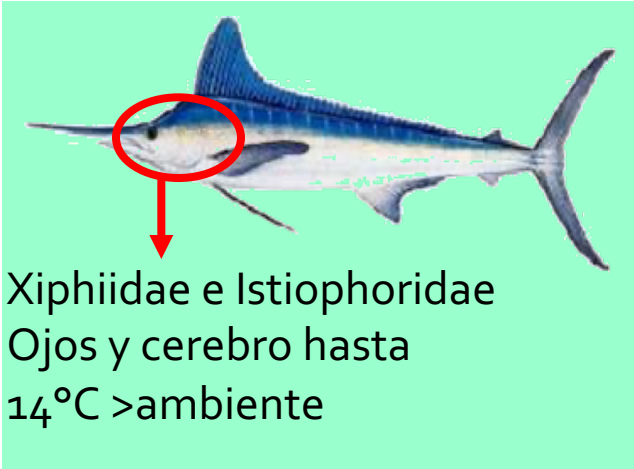
Metabolismo hasta 22 veces mayor  
Más del 15% de pérdida en masa por incubación

Termorregulación permite una T° adecuada, acortar el período de incubación y así habitar ambientes templados.

- Contracciones musculares, termogénesis tiritante, reducción relación área-volumen

## Endotermia Regional

-Regiones corporales operan a  $T^{\circ}$  más altas que el resto del cuerpo, permitiendo actividad sostenida y más rápida, o mantener habilidades sensoriales en ambientes fríos.

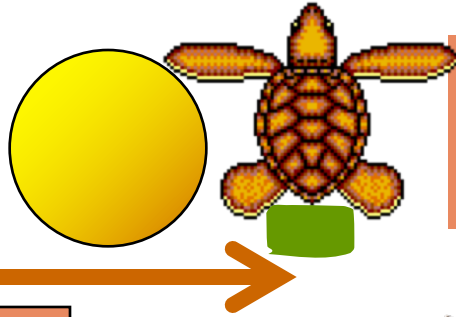
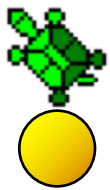


Aves y mamíferos pueden presentar heterotermia regional en ambientes fríos

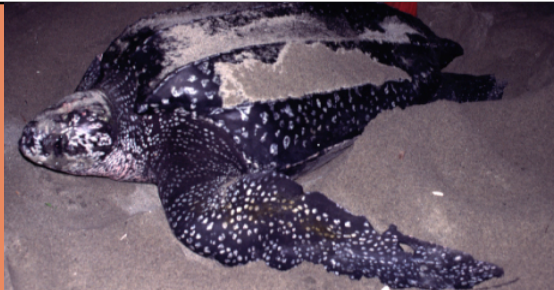


# Endotermia/ Homeotermia Inercial

- Organismos ectotérmicos, bradymetabólicos de gran tamaño y sin mecanismos que generen calor, pueden tener alta  $T^{\circ}$  corporal.



Escalamiento del área de producción y disipación de calor con el tamaño corporal



***Dermochelys coriacea***

>900Kg. Se la encuentra en aguas frías. Activa  $T_c 18^{\circ}\text{C} > \text{ambiente}$   
Sistema contracorriente en aletas y grasa marrón



***Chelonia mydas***

$T_c 8^{\circ}\text{C} > \text{ambiente}$   
Pero nadando  $1-2^{\circ}\text{C}$  inactiva  
Inercia térmica!!!



Dinosaurios de gran tamaño sin necesidad de mecanismos endotérmicos, probablemente fueran homeotermos

# ENDOTERMIA

# ECTOTERMIA

# POIQUILOTERMIA

# HOMEOTERMIA

*Heterocephalus glaber*



Rata  
Desnuda

Algunas  
Aves y  
Mamíferos  
pequeños



TOPOR



Mayoría de aves  
y mamíferos

Abejas  
Y otros  
insectos



Pitón  
"brooding"

Pocos  
peces



Mayoría  
Invertebrados  
Terrestres

Muchos Insectos Terrestres

Invertebrados  
H<sub>2</sub>O-dulce



Mayoría anfibios  
Algunos reptiles



Algunos anfibios  
y reptiles

Mayoría  
Peces  
marinos

Peces  
e invertebrados  
polares

Mayoría  
Peces  
H<sub>2</sub>O-dulce

Invertebrados  
Marinos

Termoreguladores  
Termoconformes

# Factores que afectan el compromiso entre la homeotermia endotérmica y la poiquilothermia ectotérmica

1. El tamaño del cuerpo.
  - a) Los endotermos mantienen la **temperatura corporal (Tb)** en el rango  $37^{\circ}\text{C} < \text{Tb} < 43^{\circ}\text{C}$ .
  - b) La **temperatura ambiente (Ta)** es menor que **Tb** para la mayoría de los ambientes en la mayoría de los momentos.
  - c) Para los endotermos en la mayoría de los ambientes,  $\text{Tb} > \text{Ta}$ .
    - i.  $\text{Tb} - \text{Ta}$  es el gradiente de temperatura entre el cuerpo y el entorno.
    - ii. La tasa de pérdida de calor (pérdida de energía) hacia el ambiente depende del gradiente, y del área sobre la que existe el gradiente.

**Entonces...**

$$\text{Pérdida de calor} \propto \text{Área} * (T_b - T_a)$$

Cuando el tamaño del cuerpo ↓  $\Rightarrow$  la superficie por kg de masa corporal (la relación superficie/volumen) ↑

Si pensamos que el animal es una esfera con radio = r

$$\text{Superficie} = 4\pi r^2$$

$$\text{Volumen} = \frac{4}{3}\pi r^3$$

$$S/V = 3/r \Rightarrow$$

- Si  $r \uparrow$ ,  $S/V \downarrow$
- Si  $r \downarrow$ ,  $S/V \uparrow$

Los animales no son realmente esferas. Un cálculo más realista utiliza  $S = aV^{0,67}$ , donde a = coeficiente que varía entre los grupos taxonómicos según la forma.

## 2. Temperatura ambiente

- Ser ectotermo y poiquilotermo no es viable a temperaturas muy bajas donde la termoconformidad hace que las reacciones metabólicas sean demasiado lentas.
- Para los endotermos es más fácil (menos costoso) de mantener la homeotermia cuando el gradiente  $T_b - T_a$  es pequeño, pero permite a los animales explotar entornos demasiado fríos para los ectotermos.



### 3. Disponibilidad de alimentos (energía)

- Los endotermos utilizan la energía para regular la temperatura.
  - Un endotermino tiene una **tasa metabólica (TM)** en la naturaleza hasta 17 veces mayor que la TM de un ectotermino de tamaño similar.
  - Si el alimento (energía) es abundante, la endotermia puede mantenerse.
  - Si la energía es muy limitada, puede ser difícil obtener suficiente comida para mantener el costo de la endotermia.
- Así que los ectotermos presentan cierta ventaja pudiendo explotar ambientes con escasez de alimento (espacial o temporalmente).

## 4. Disponibilidad de agua

Para los endotermos homeotermos es más difícil mantenerse en ambientes áridos por dos razones:

1. Los endotermos utilizan la refrigeración por evaporación (evapotranspiración) a través del sudor o el jadeo para enfriarse.
2. Los endotermos tienen una  $T_M$  más alta. Mayor  $T_M$  → mayor tasa de respiración → mayor pérdida de agua a través del paso del aire por las superficies respiratorias húmedas (deben estar húmedas para el intercambio de gases)
  - Los ectotermos componen una mayor proporción de las comunidades del desierto:
  - Los poiquilotermos son más capaces de afrontar la conservación del agua
  - Los poiquilotermos tienen menor costo al permitir  $T_b$  cercano a  $T_a$

## 5. Riesgo de depredación

Un costo adicional para los ectotermos es que la movilidad se ve limitada cuando la temperatura ambiente baja (debido a los efectos de la temperatura en la tasa metabólica).

En consecuencia, las presas ectotérmicas son más vulnerables a los depredadores homeotérmicos que las presas endotérmicas.

## 6. Entorno acuático/terrestre

La capacidad calorífica del agua es alta (en comparación con el aire), por lo que cualquier superficie expuesta al agua con un gradiente de temperatura perderá rápidamente calor.

Esto implica que los organismos acuáticos deben ser poiquilotérmicos o estar muy bien aislados.

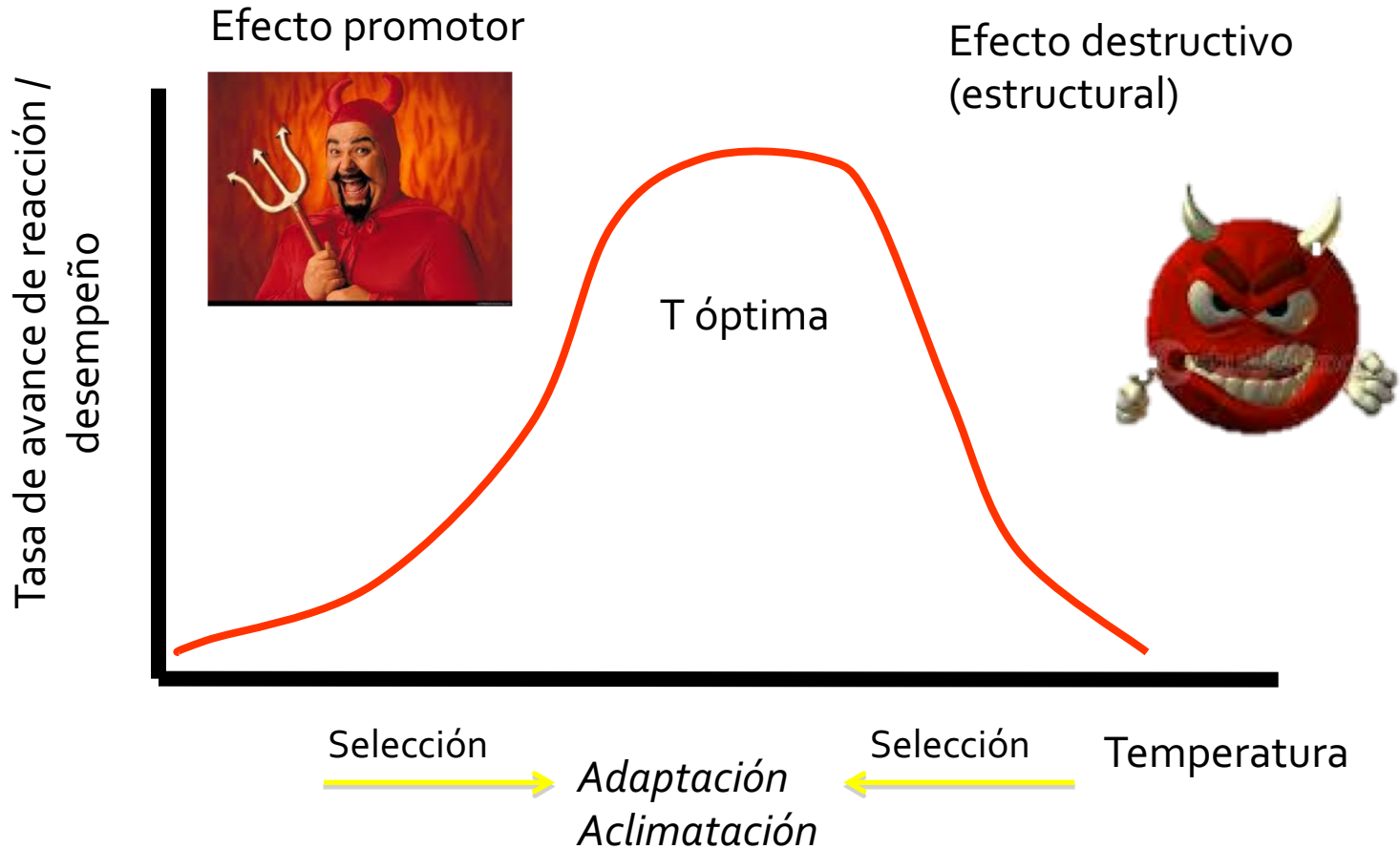
Si bien algunos aspectos del medio interno se mantienen cercanos a un punto fijo o dentro de un rango normal, el ***cambio regulado*** es esencial para las funciones corporales normales.

El rango normal de la homeostasis puede cambiar por ***aclimatación***, proceso por el cual un animal se ajusta a los cambios en su ambiente externo.

*La aclimatación (una forma de plasticidad fenotípica), que es un cambio temporal durante la vida de un animal, es **diferente de la adaptación**, un proceso de cambio provocado por la selección natural que actúa a lo largo de muchas generaciones.*

# Efecto de la temperatura en un proceso biológico

## Efecto "bifásico" de la temperatura



Generalmente se logra garantizar el proceso más que independizarlo de la T

Sangre fría – Sangre caliente  
Poiquilotermo – Homeotermo  
Ectotermo – Endotermo  
Termoreguladores - Termocconformes  
Stenotermos - Euritermos

} Extremos de un continuo

Procesos de aclimatación  
&  
Procesos de adaptación

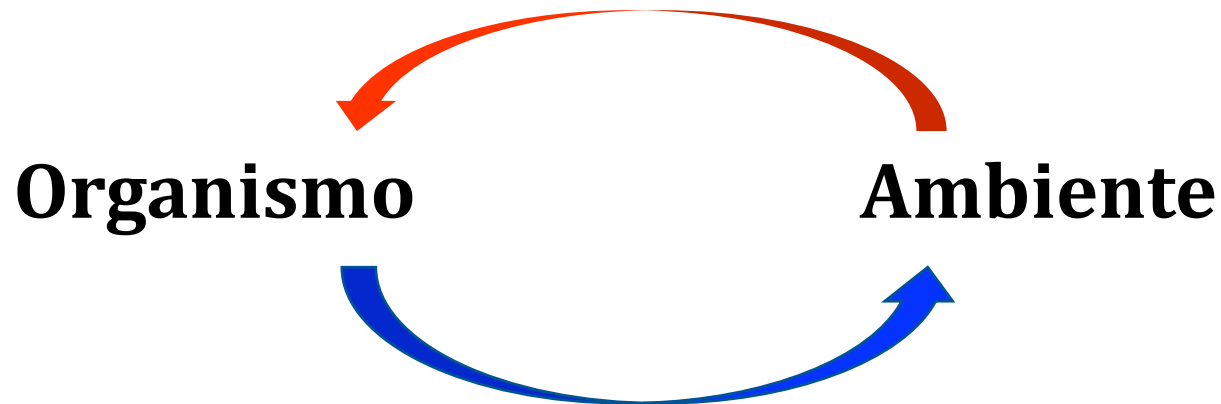
Ajustar el funcionamiento del  
organismo a las condiciones  
ambientales

# Regulación del intercambio térmico



# Ambientes e intercambio térmico

La energía térmica se mueve en un gradiente (+ a -).  
Existen diversas fuentes y sumideros de energía térmica.



Control de la temperatura implica manejar las vías de intercambio térmico a favor del organismo, de acuerdo a su entorno y circunstancias.

# Principios básicos de intercambio de calor (como en cualquier sistema físico)

1 conducción

3 radiación

2 convección



Organismos con alto porcentaje de agua, particularmente los organismos terrestres tienen dos vías más de intercambio y control de temperatura:

**Evaporación**

**Condensación**

# Conducción

- Transferencia de  $E$  térmica de un objeto a otro. Los animales pueden perder calor cuando la  $E$  térmica es conducida fuera del cuerpo, o ganarlo al absorber calor de objetos conductores.
- La conductividad térmica varía con el tipo de material y la geometría del cuerpo

# Conducción

- Flujo de calor (Q)
- Obedece la ley de Fourier

$$Q = \lambda \Delta T / L$$



conductividad

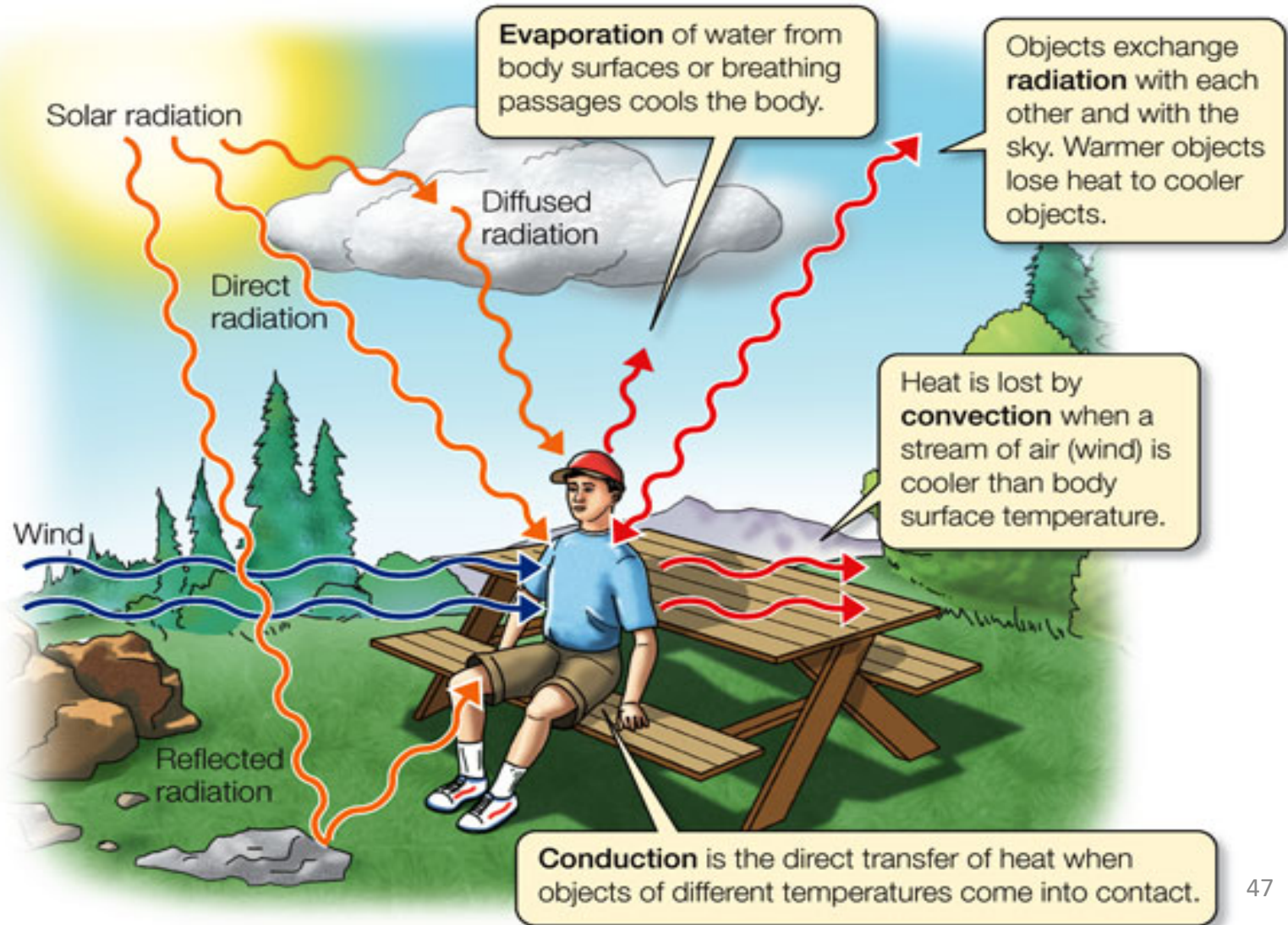
# Convección

- Transferencia de energía térmica entre el organismo y un medio fluido (aire, agua, sangre).
- El gradiente térmico, el flujo y su conductividad, afectan la convección.
- Por ejemplo, el aire tibio se “siente más fresco” cuando circula que cuando está quieto.

# Radiación

- Emisión de radiación electromagnética por parte de un objeto

# Resumen: fuentes y sumideros



# Regulación del intercambio térmico

- Comportamental
- Morfológica / Fisiológica



## ■ Regulación comportamental



Este tipo de regulación es la más utilizada por los ectotermos



Pero muchos endotermos tienen comportamientos fundamentales para termorregular:

- *Huddling* (Acurrucarse)
- Asoleamiento
- Torpor
- Hibernación/Estivación



# Temperatura y comportamiento de ectotermos

Ectotermo: ajustar T° a requerimientos y respuestas limitadas por T° corporal



*Agama savigny*

18°C Velocidad de escape: 1m/seg.  
34°C Velocidad de escape: 3 m/seg.



18°C enfrenta



34°C huye

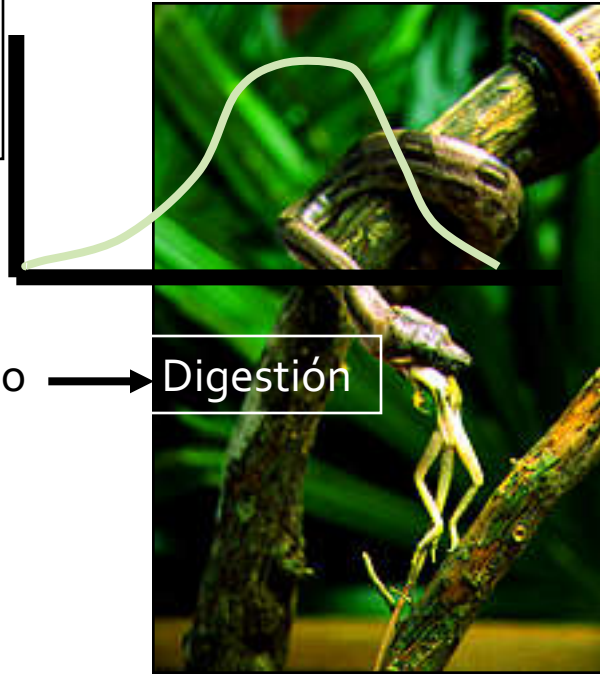


El estado térmico determina el comportamiento



Comportamiento de ectotermos orientado a controlar  $T^{\circ}$  interna en base a las actividades que realiza

= Digestión = gasto metabólico



Alimentación

Asolearse

+  $T^{\circ}$

+ Metabolismo

Digestión



Hembras grávidas de distintas especies de lagartijas convergen a  $32^{\circ}\text{C}$



$32^{\circ}\text{C}$



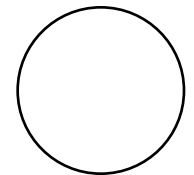
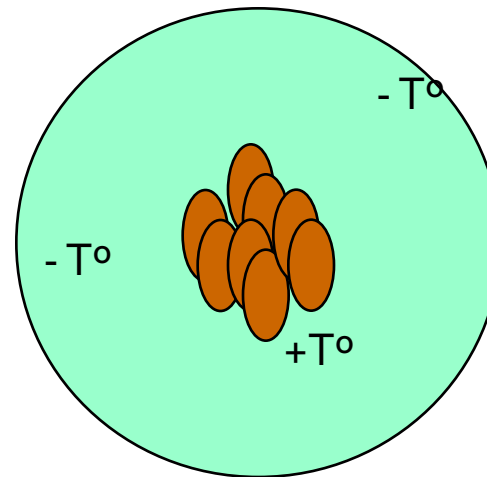
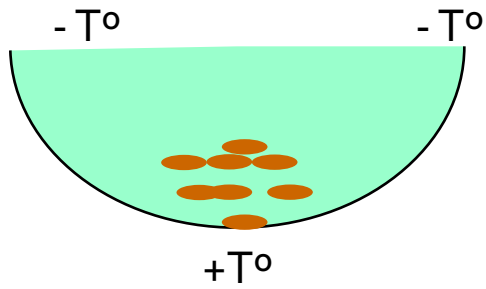
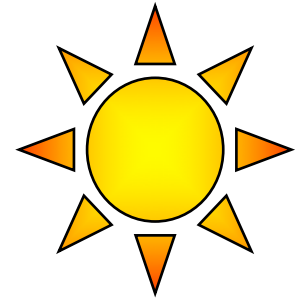
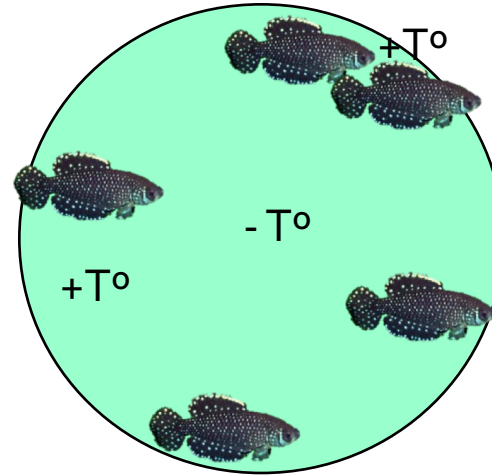
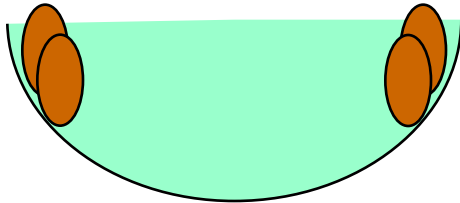
Desarrollo muy sensible a temperatura

La  $T^{\circ}$  es ajustada en función de los requerimientos

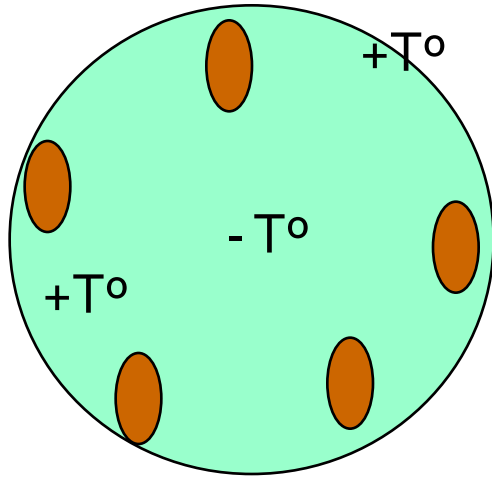
# También en ambientes acuáticos

 Pez o renacuajo

+T°      -T°      +T°

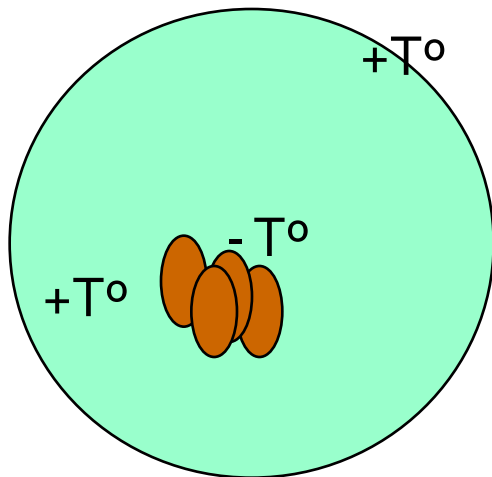


# La selección de microambientes para administrar el gasto energético



Trucha: Selecciona + T° alimentación y digestión

*Bufo boreas*: comida abundante: +T°, + desarrollo



Trucha: Selecciona - T° descanso= - gasto

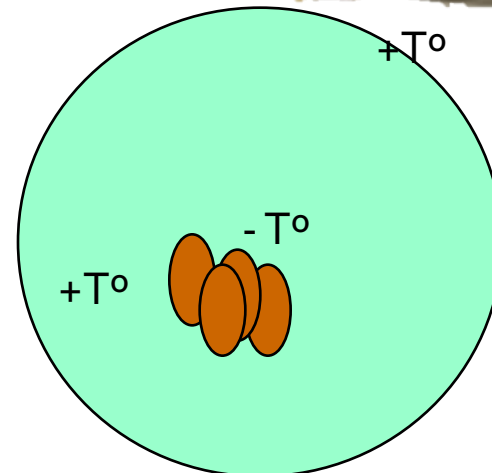
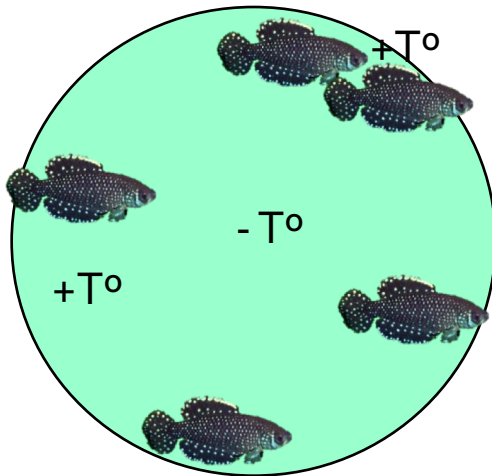
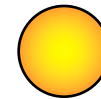
*B. boreas*: comida escasa : -T°, - desarrollo

# Temperatura y comportamiento en ectotermos

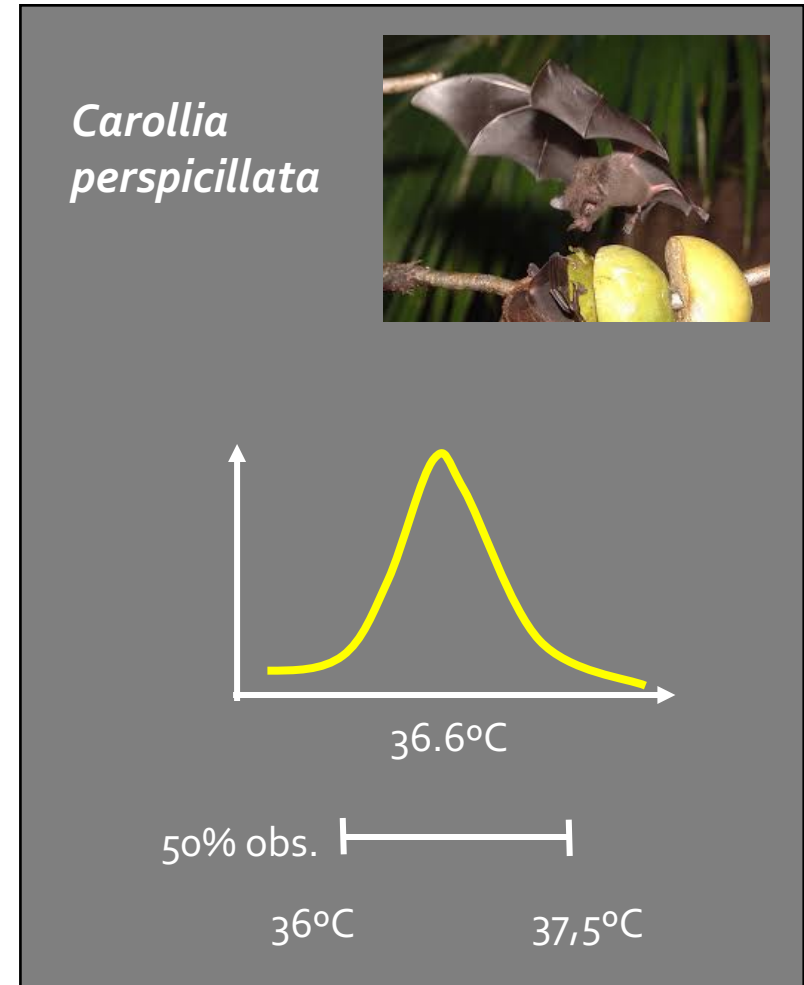
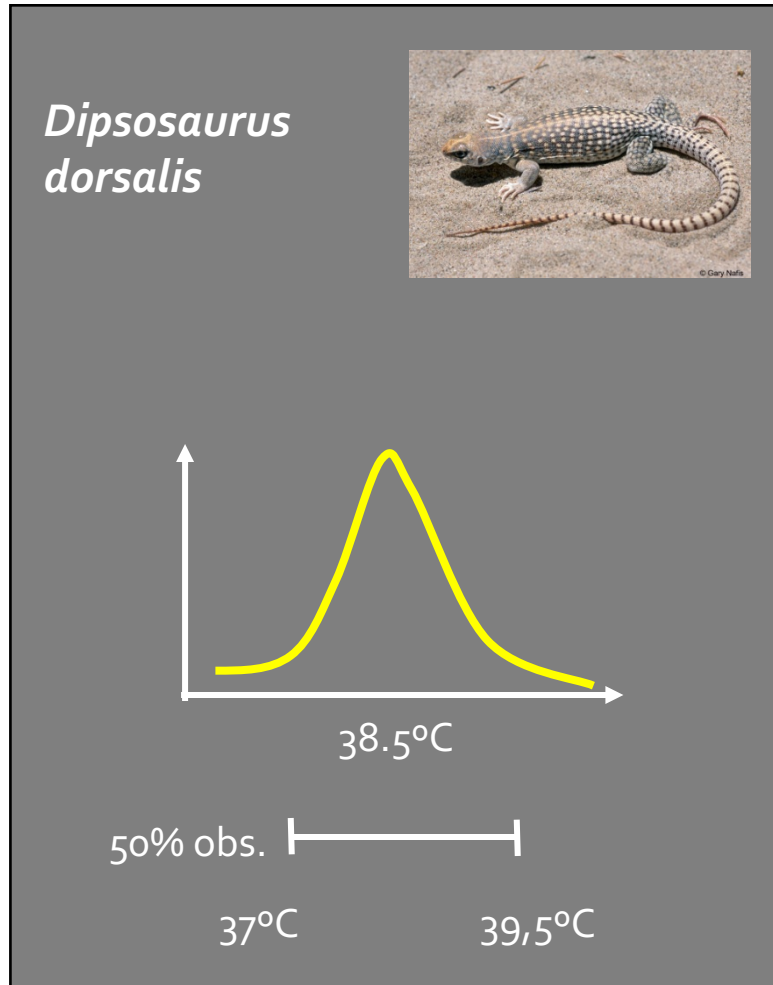
Mensaje: Los ectotermos en general invierten mucho de su tiempo en controlar la temperatura corporal, asociado al mantenimiento de su fisiología y a estad(i)os particulares



32°C



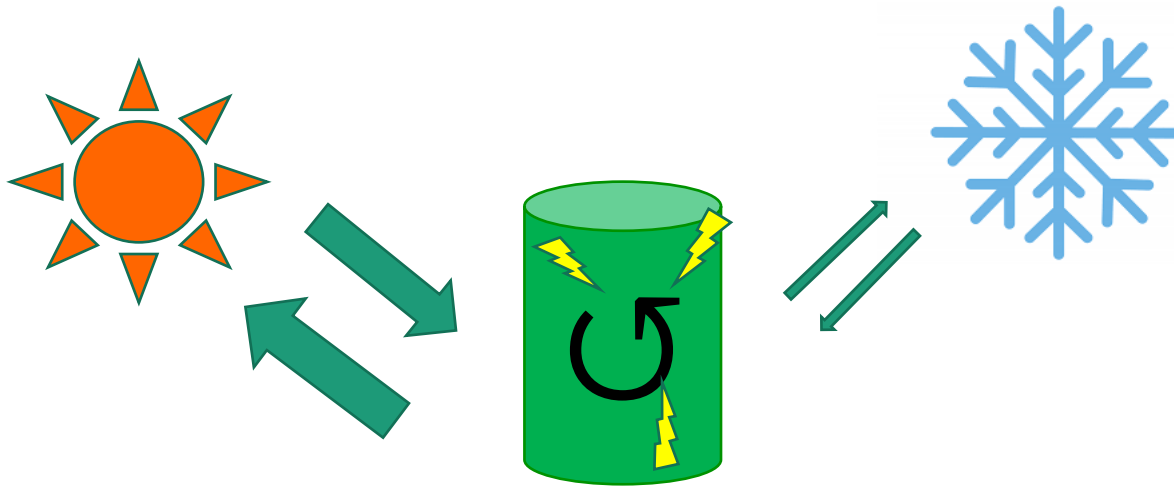
# Regulación de T° corporal por comportamiento no debe interpretarse como un mecanismo ineficiente de control



No obstante la precisión de la estrategia ha sido raramente cuantificada (McNab 2002)

# Regulación morfológica y fisiológica del intercambio térmico con el ambiente

En general, la termorregulación apunta a que la ganancia de calor iguale las tasas de pérdida de calor.



Los animales logran la termorregulación a través de mecanismos que reducen el intercambio de calor en general o mecanismos que favorecen el intercambio de calor en una dirección particular.



- varios de estos mecanismos involucran el sistema tegumentario, incluyendo la piel, el pelo y las uñas.
- Glándulas sebáceas y sudoríparas, músculos, nervios y vasos sanguíneos.
- El tejido adiposo en algunas especies permite un gradiente térmico de varios grados (aislamiento).
  - Una de las principales adaptaciones termorreguladoras en mamíferos y aves es a través de la aislación térmica: pelo, plumas o capas de grasa.
  - Reduce el flujo de calor entre un animal y su entorno y disminuye el costo energético de mantener el calor.

*Muchos endotermos y ectotermos pueden alterar la cantidad de flujo sanguíneo entre el núcleo del cuerpo y la piel*

- Vasodilatación o vasoconstricción
- Otra adaptación circulatoria es el intercambio contracorriente, la transferencia de calor o solutos entre fluidos adyacentes que fluyen en direcciones opuestas.
- Implica una disposición antiparalela de los vasos sanguíneos llamada intercambiador de calor en contracorriente.
  - Las arterias y las venas están cerca unas de otras. A medida que la sangre caliente pasa por las arterias, el calor se transfiere a la sangre venosa más fría que regresa de las extremidades.

*Muchos organismos viven en lugares donde la termorregulación requiere no solo aumentar o mantener la temperatura, sino también enfriarse*

- Si la temperatura ambiental está por encima de la temperatura corporal, la evaporación es la única forma de evitar que la temperatura corporal aumente.
- Los animales terrestres pierden agua por evaporación a través de la piel y cuando respiran.
- El agua absorbe una importante cantidad de calor cuando se evapora; este calor se pierde del cuerpo con el vapor de agua

*Muchos organismos viven en lugares donde la termorregulación requieren solo aumentar o mantener la temperatura, sino también enfriarse*

- El jadeo es importante en las aves y en muchos mamíferos
- Algunas aves tienen una bolsa ricamente provista de vasos sanguíneos en el piso de la boca
- Sudar humedece la piel y aumenta el enfriamiento por evaporación.
- Muchos mamíferos terrestres tienen glándulas sudoríparas controladas por el sistema nervioso

# Efectos de la temperatura en la tasa metabólica

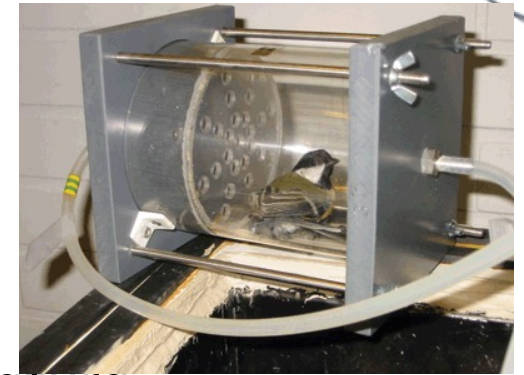
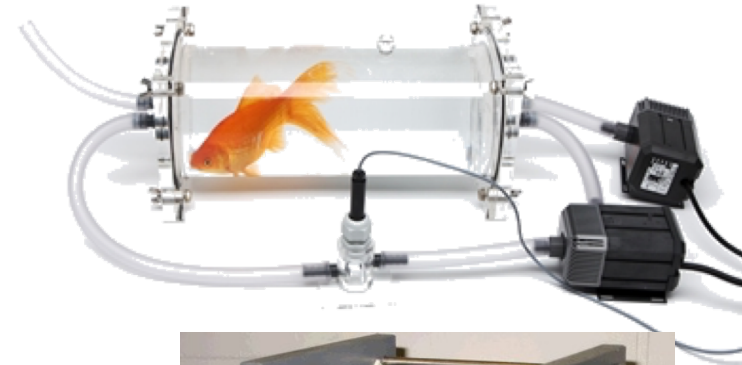
Todos los organismos requieren energía química para su crecimiento, reparación, actividad y reproducción

Los requerimientos energéticos de un organismo están vinculados al ambiente en que vive, pero también a otros factores

- Tamaño corporal
- Nivel de actividad

# Tasa metabólica

**Tasa Metabólica:** costo energético de todas las funciones vitales. Típicamente medido como consumo de  $O_2$  por unidad de tiempo

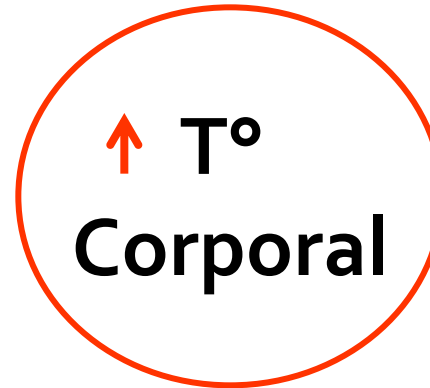
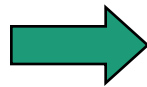


*La relación entre Temperatura ambiente – Temperatura corporal - Metabolismo es la diferencia esencial entre endotermos y ecotermos*



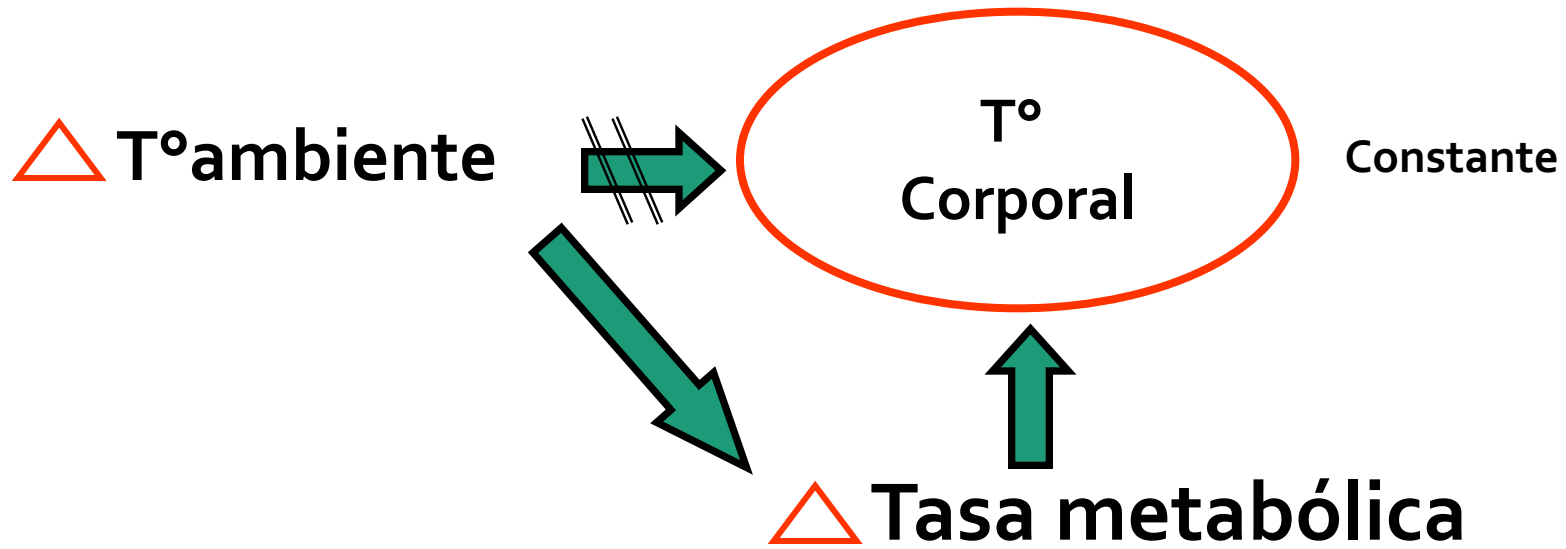
# Ectotermos

↑ T°ambiente



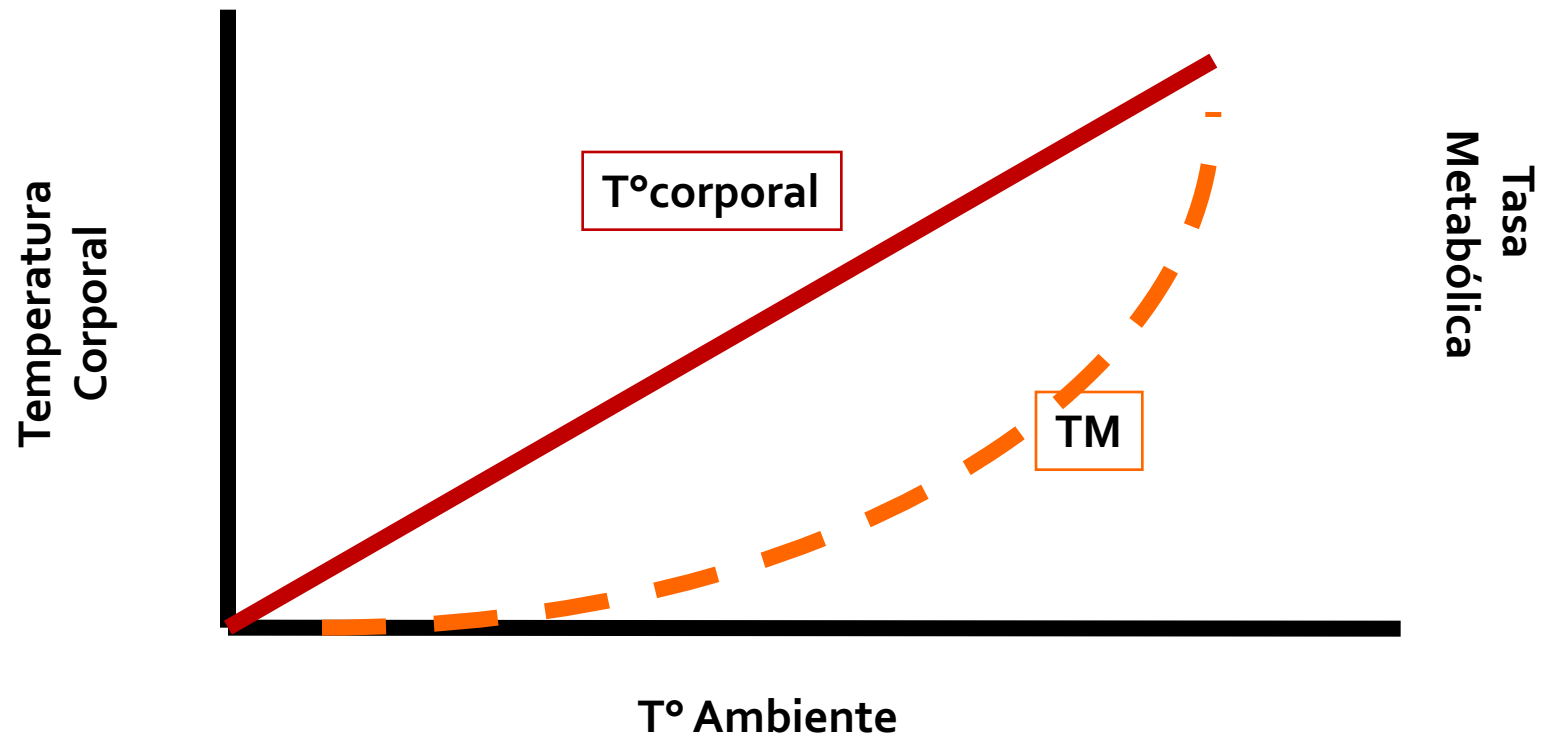
↑ Tasa metabólica

# Endotermos

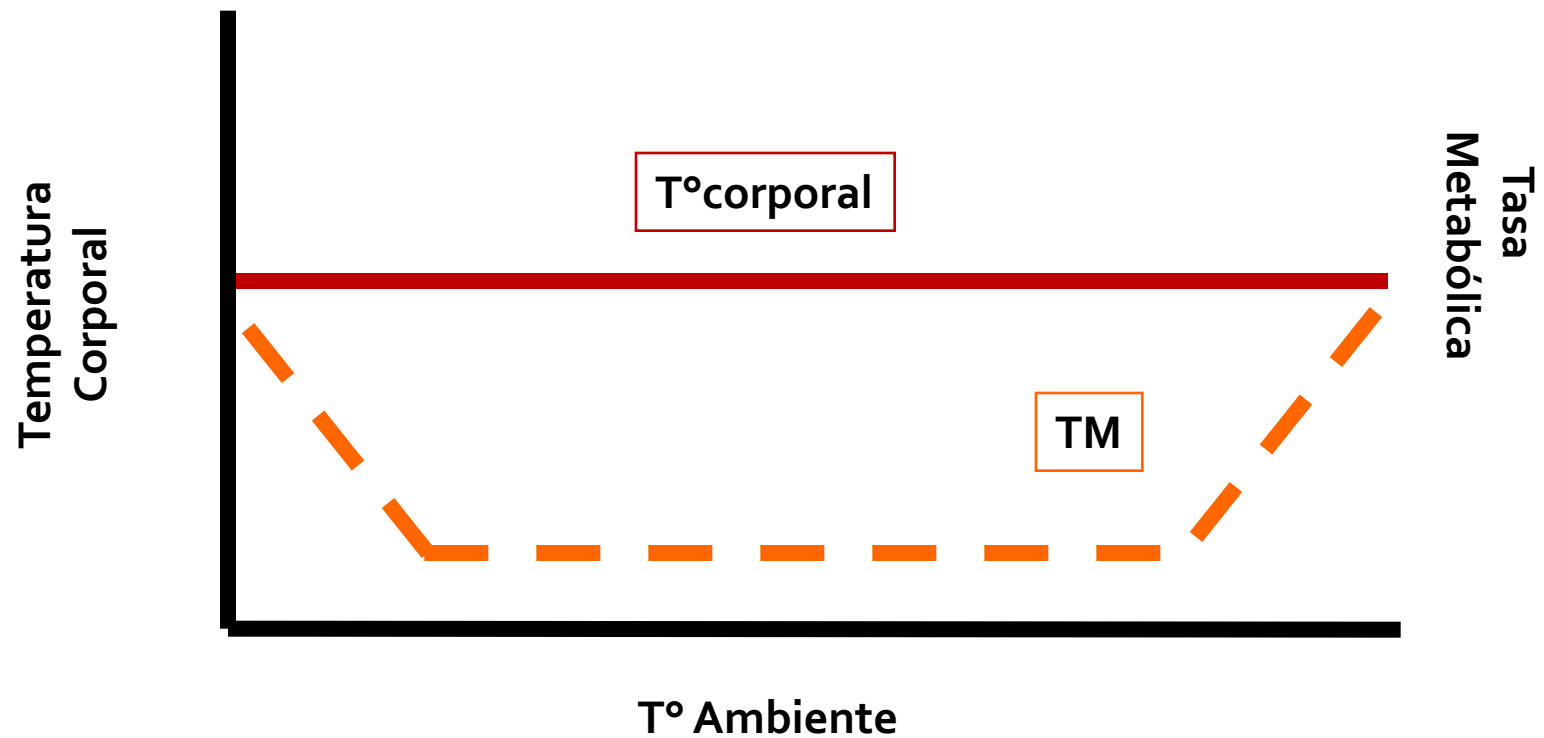


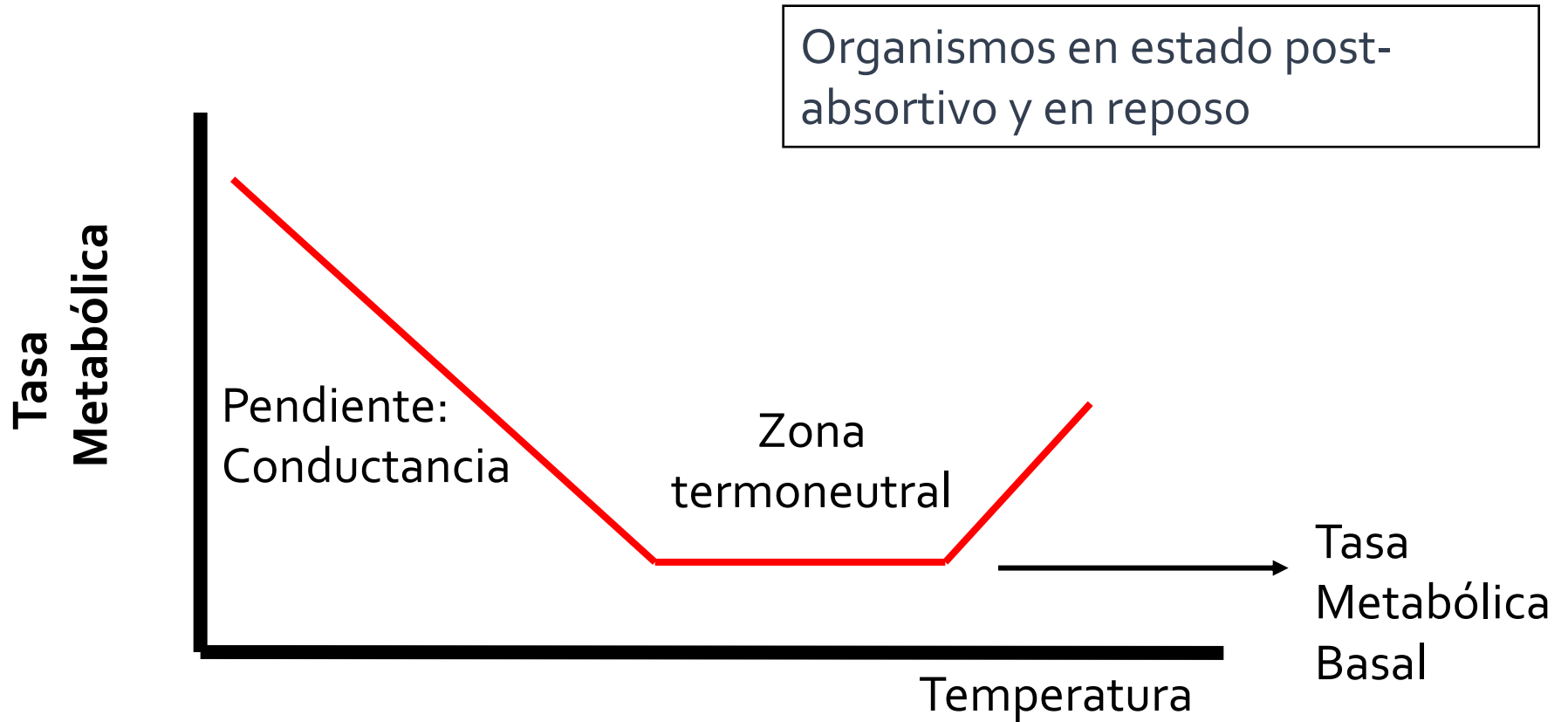


# ECTOTERMOS: a mayor T° mayor tasa metabólica



# ENDOTERMOS: a mayor T° menor tasa metabólica



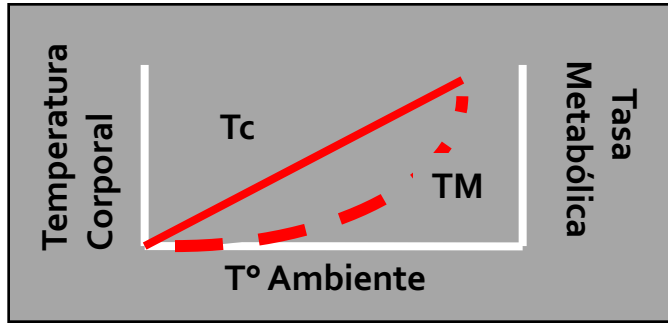


La Tasa Metabólica Basal es la variable central en estudios comparativos

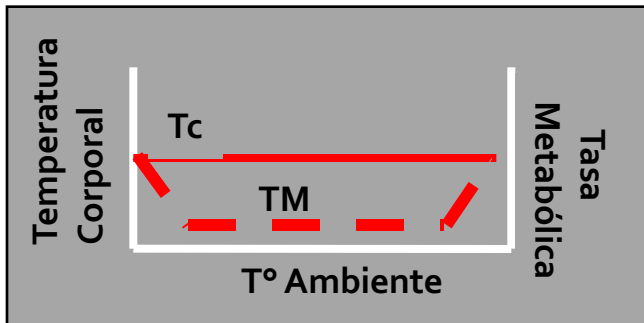
Ectotermos?????

Se calcula la tasa metabólica para un valor fijo de  $T^{\circ}$ , (usualmente  $20^{\circ}\text{C}$ )

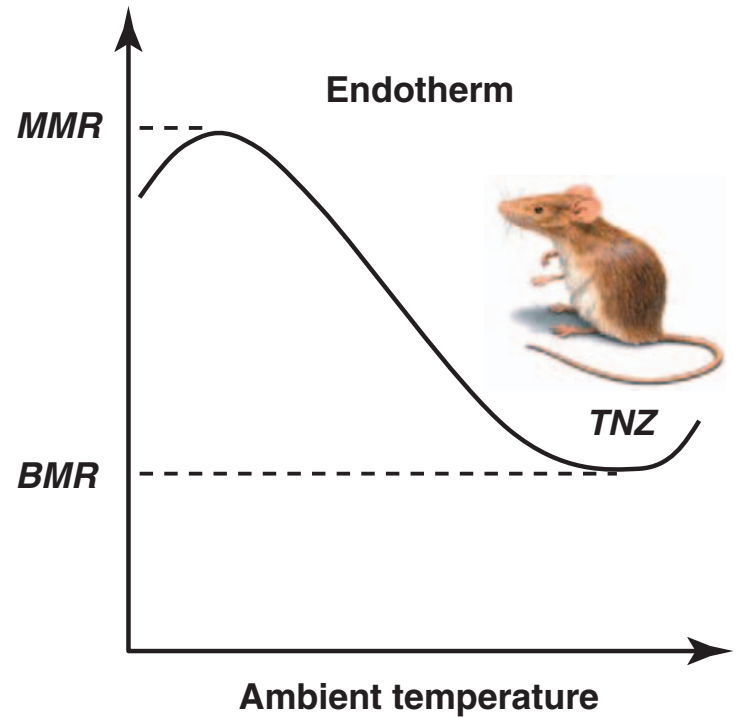
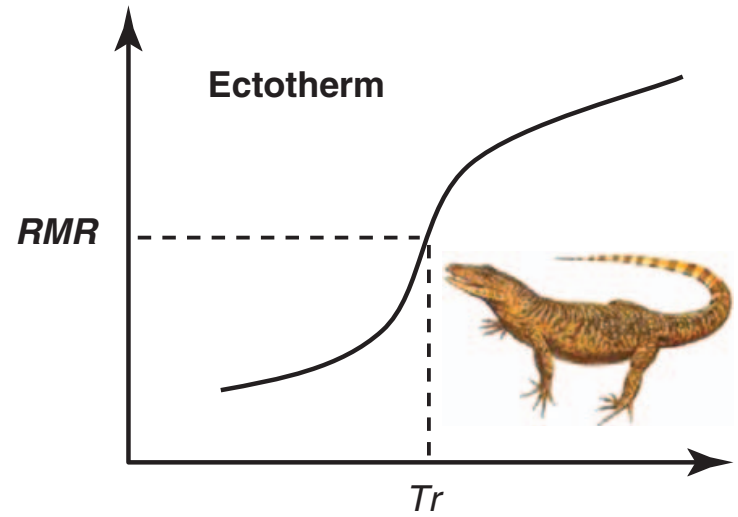
# Ectotermo



# Endotermo



Rate of oxygen consumption



# Resumen

➤ Conceptos básicos en biología térmica  
 Endotermia-Ectotermia; homeotermia-poiquilotermia  
 Definiciones complementarias

➤ Condiciones intermedias

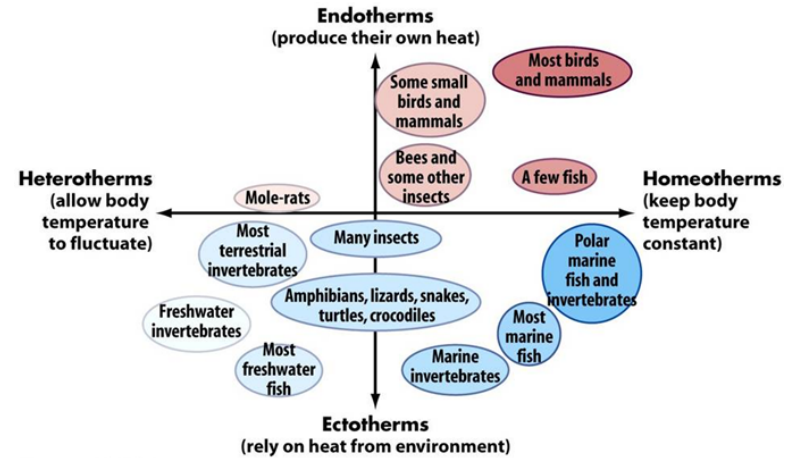
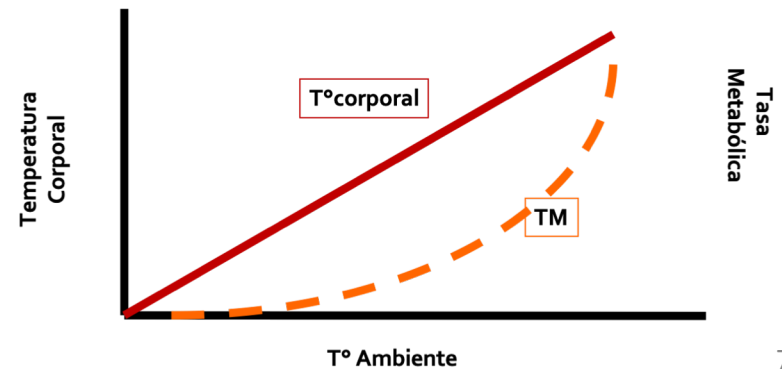
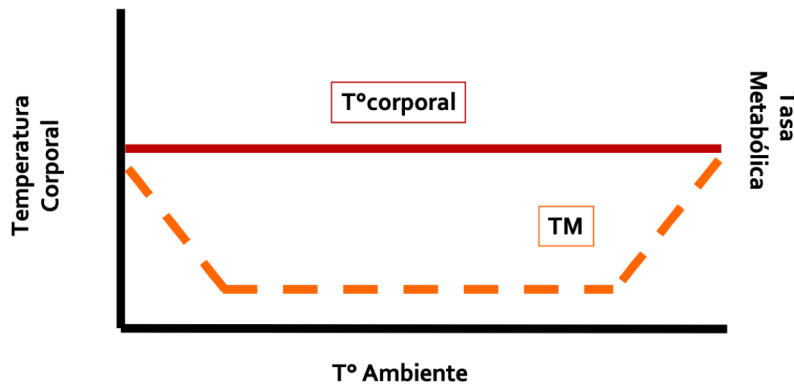


Figure 41-15 Biological Science, 2/e  
 © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

➤ Tasa Metabólica –  $T^{\circ}$ ambiente -  $T^{\circ}$ corporal  
 Endotermos vs Ectotermos



*FIN*