

METABOLISMO Y TERMORREGULACION

METABOLISMO

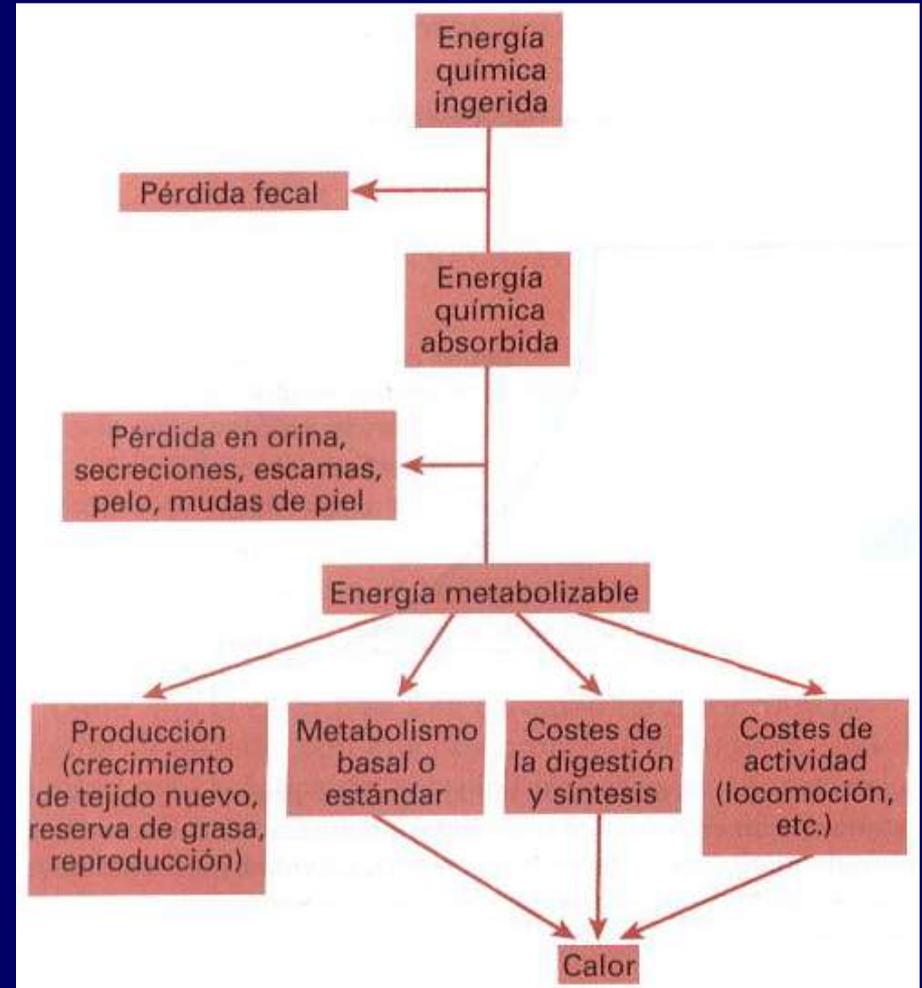
CATABÓLICO (descompone moléculas, para producción de energía)

ANABÓLICO (sintetiza moléculas, para reparación, regeneración, crecimiento)

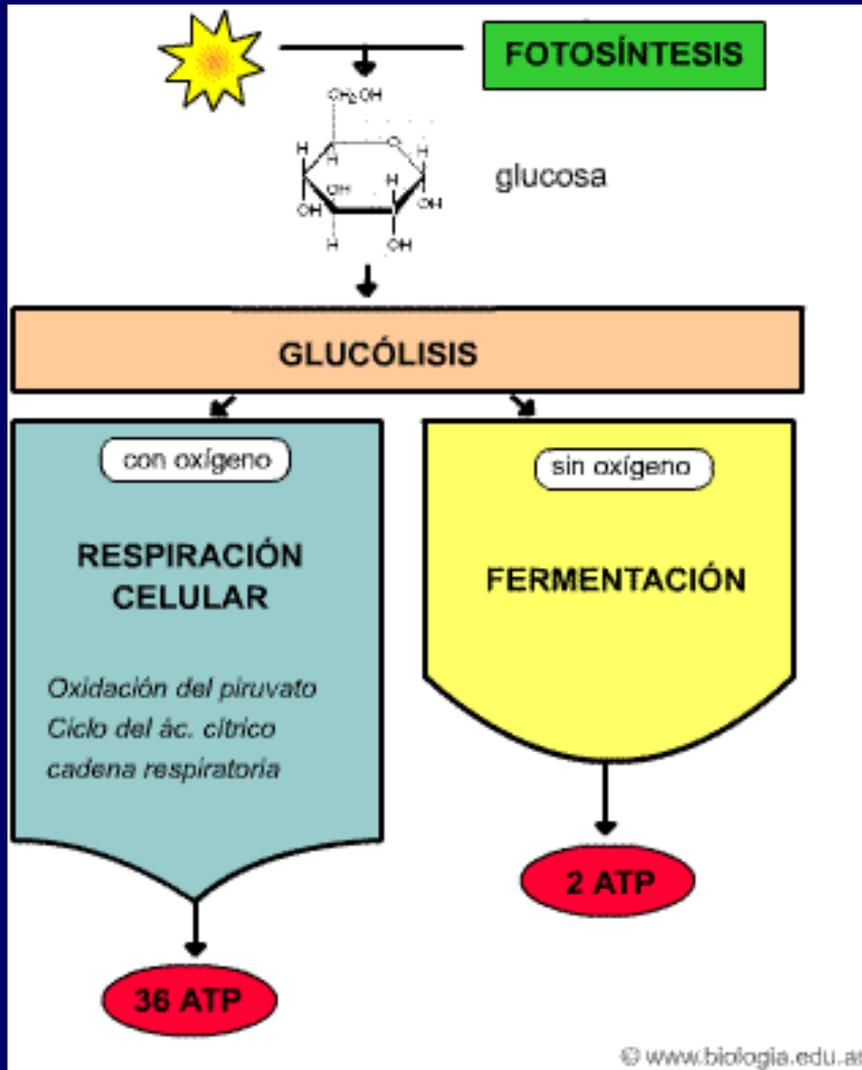
Aeróbico
Anaeróbico

Energético
Nitrogenado
Mineral

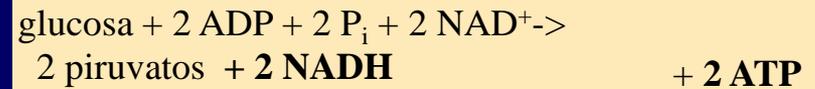
La incorporación neta de N en un organismo es indicativo de anabolismo



Respiración celular



Glucólisis:



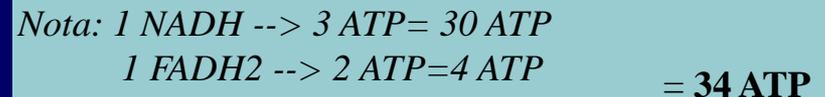
1°. cada 2 ác. pirúvico + coenzima-A, --> 2 CO₂ y un grupo acetilo que se une inmediatamente a la coenzima-A formando 2 acetil coenzima-A + 2 NADH

2°. Ciclo de ac. cítrico:



3°. Cadena respiratoria:

los 10 NADH + 2 FADH₂ de los pasos anteriores dan --->



- 2 ATP usados en el reingreso de 2NADH producidos en la glucólisis: -2 ATP

TOTAL 36 ATP

Nutrición

Requerimientos nutricionales

- suficientes fuentes de energía para satisfacer los procesos fisiológicos
- suficientes proteínas y aminoácidos para mantener el balance de nitrógeno
- suficiente agua y minerales para compensar las pérdidas
- elementos como aminoácidos esenciales y vitaminas no sintetizadas por el cuerpo

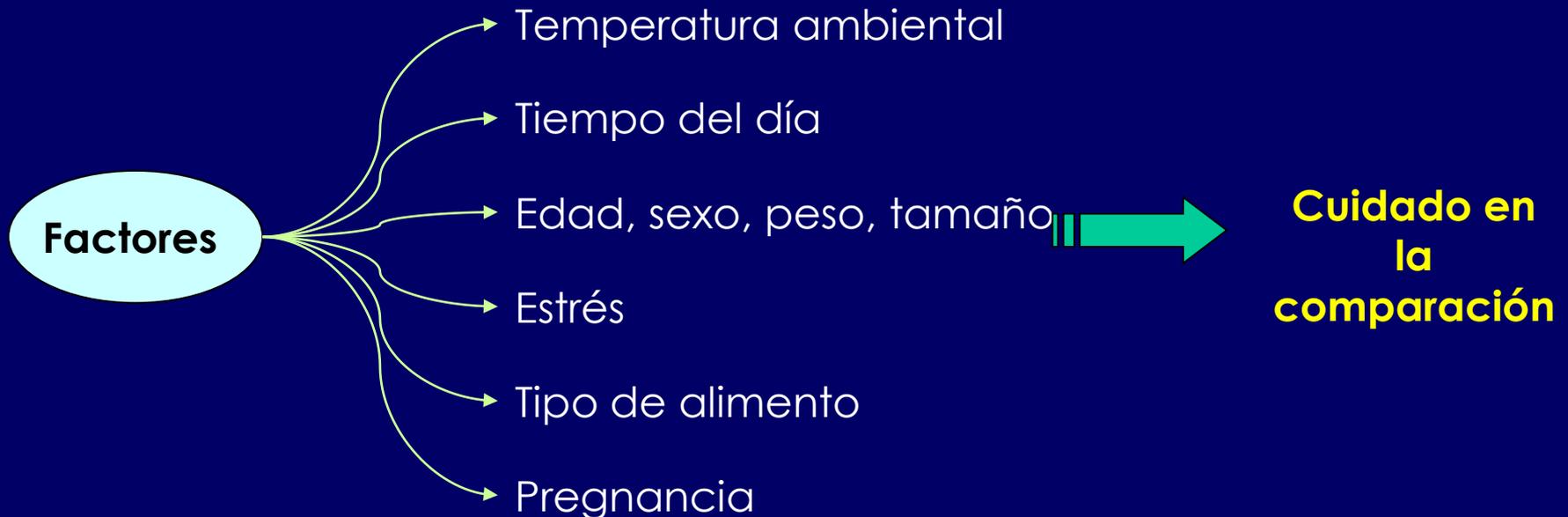
Factores que afectan los requerimientos

- edad
- estado reproductivo
- actividad
- temperatura corporal: endotermos requieren más
- tamaño corporal: a menor tamaño mayor tasa metabólica

Índice metabólico o tasa metabólica

UTILIDAD DE LA TASA METABÓLICA

1. Calcular los requerimientos energéticos
2. Conocer costo energético de las actividades
3. Evaluar la calidad ambiental
4. Papel energético de la especie dentro del ecosistema
5. Establecimiento de actividades económicas



TASA METABÓLICA

Mide conversión de la energía química en calor

BASAL
TMB

Gasto metabólico despierto en ayunas y en reposo, sin estrés térmico, en aves y mamíferos

ESTANDAR
TME

Gasto metabólico despierto en ayunas y en reposo movimiento, a una temperatura determinada

ACTIVA

Gasto metabólico promedio en distintos estados de actividad

Alcance metabólico: cuántas veces aumenta la tasa metabólica con la actividad física, ej carrera, vuelo.

El efecto del metabolismo anaeróbico (lactato-piruvato-gluconeogénesis) genera dificultades como la **deuda de oxígeno**, que se manifiesta en breves periodos de tiempo.

También la tasa metabólica aumenta en las horas posteriores a la toma de alimentos (digestión, absorción y metabolismo)

MEDICIÓN DE LA TASA METABÓLICA

1. Calorimetría directa: medición de la liberación de energía en forma de calor en un tiempo determinado.

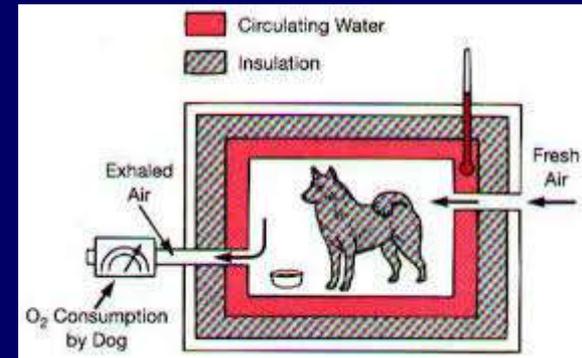
2. Calorimetría indirecta: medición de la diferencia entre la energía ganada y la perdida; medir la energía contenida en los alimentos y las excretas mediante una bomba calorimétrica; mejor mediante medición del consumo de O_2 y liberación de CO_2 (esta es menos precisa) –respirometría cerrada o abierta.

Calorimetría directa

2,45J de calor latente por gramo de agua

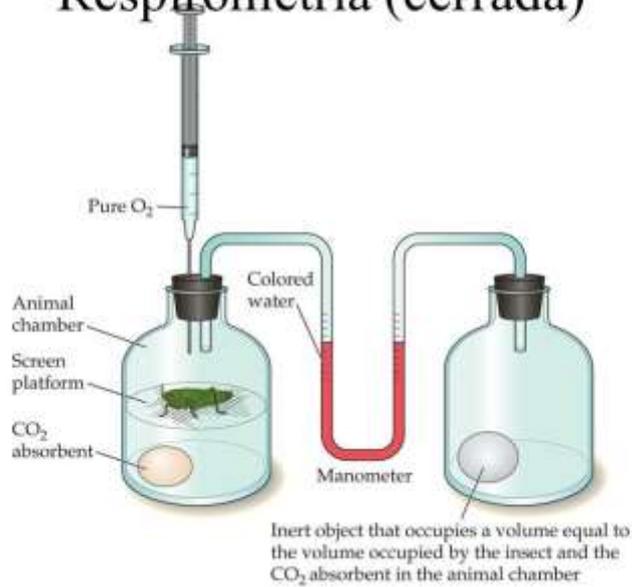
Bueno para TM altas y animales pequeños

Afecta el comportamiento sesgos

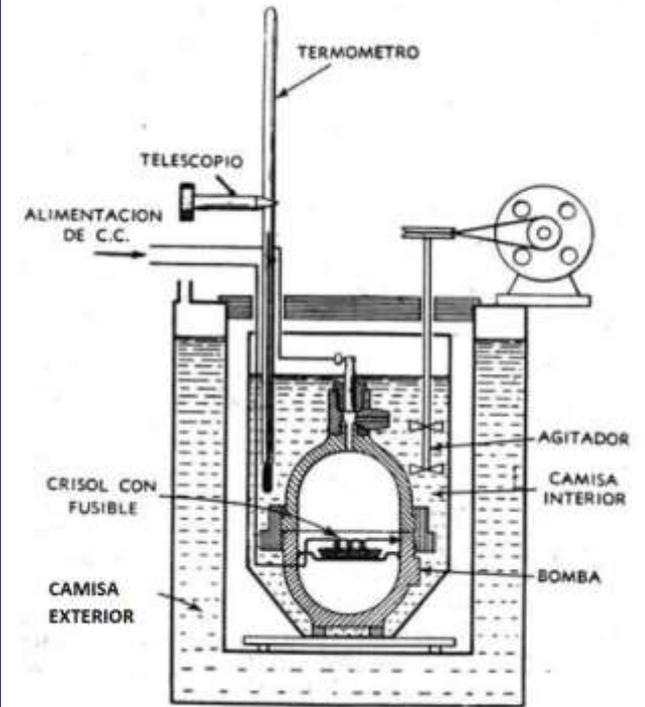


En la oxidación aeróbica, la cantidad de calor producido está relacionado con la cantidad de oxígeno consumido. En anaerobiosis no funcionaría porque el consumo de oxígeno es mínimo.

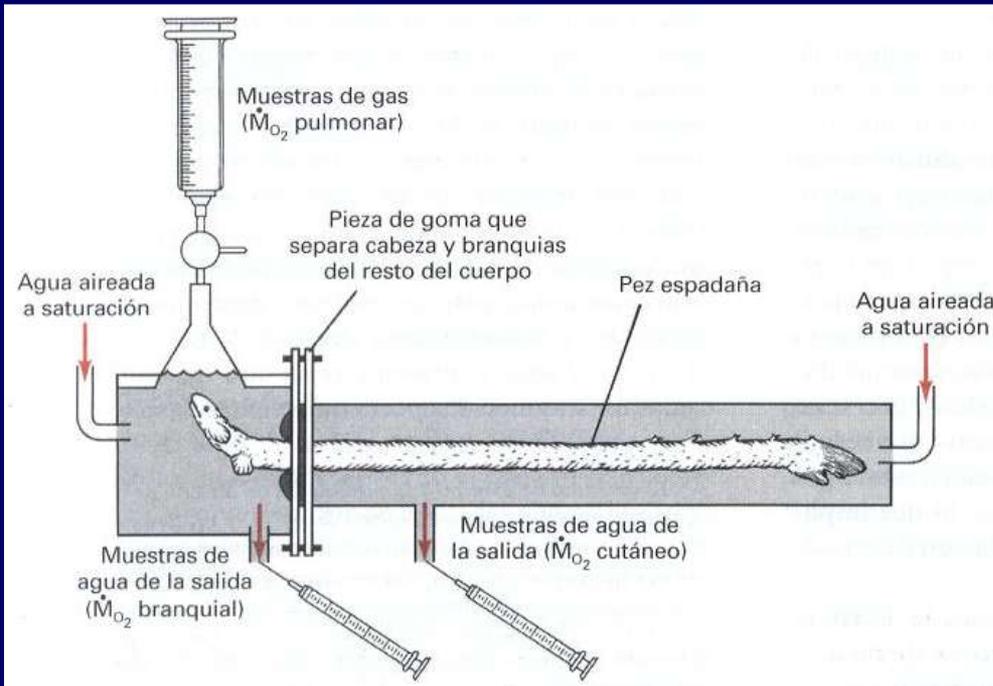
Respirometría (cerrada)



Calorimetría indirecta



Bomba calorimetrica



COCIENTE RESPIRATORIO (CR o R_Q)

$$R_Q = \frac{[\text{tasa de producción de CO}_2]}{[\text{tasa de consumo de O}_2]}$$

CR = Tasa CO₂ producido/ Tasa de O₂ consumido

Carbohidratos	CR = 1.00 todo el oxígeno para oxidar
Lípidos	CR = 0.70 forma agua
Proteínas	CR = 0.80 forma desechos nitrogenados

Para transformar la cantidad de oxígeno consumido en calor producido se debe conocer las cantidades de carbono e hidrógeno oxidado.

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

El consumo de O₂ (tasa metabólica) es independiente de la concentración de [O₂]. Es decir si tenemos oxígeno puro o la mitad de la PO₂ cuando se está a 6000 msnm la tasa de consumo de O₂ es igual

“ Esta independencia no es universal, ej. La langosta ”

Un metabolismo independiente de la concentración de oxígeno es un caso especial, y la dependencia es una regla general

Balance energético

ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA: GRASA Y GLICÓGENO

	Glucógeno	Grasa
Composición	glucosa	ácidos grasos
Almacenam energía	menor	mayor (doble)
Movilización-acceso	Rápida (corto plazo)	Lenta (largo plazo)
Duración	corta 12 horas	larga
Peso	pesado (1 g glucógeno + 3 g agua)	Liviano (ej bueno aves, insectos)
Localización	hígado, músculo, plasma	grasa subcutánea y visceral

Glucógeno tiene la ventaja además de la rápida movilización de que provee energía en condiciones anaerobias.

En economía de peso en aves migratorias es alta (40-50% es grasa)

Rendimiento energético de los alimentos:

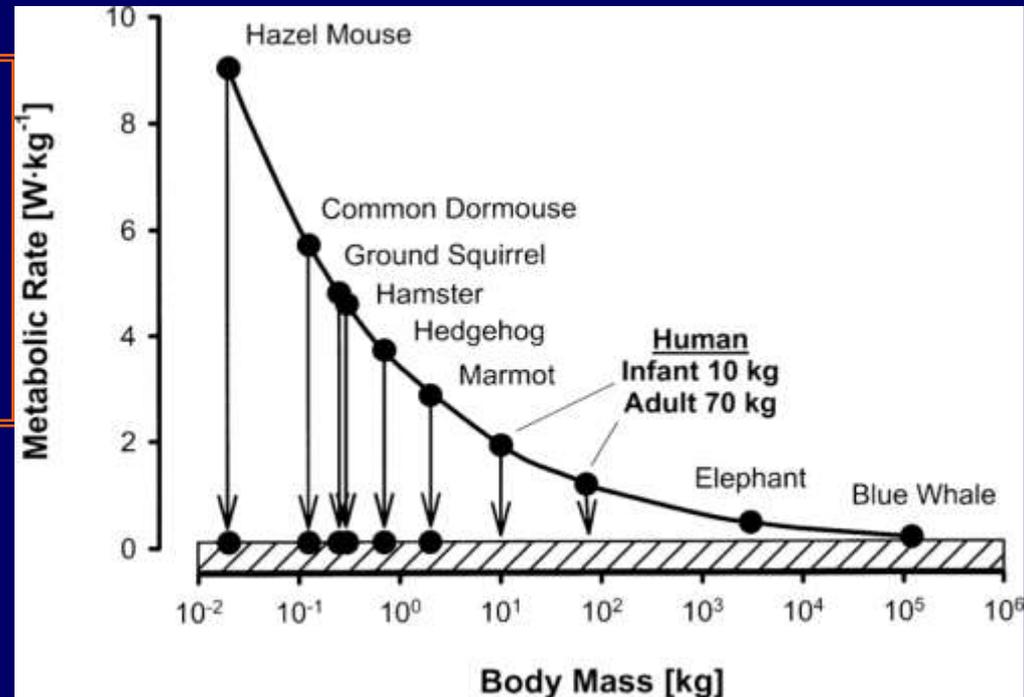
- carbohidratos producen 4 kcal/g
- lípidos producen 9 kcal/g
- proteínas producen 4 kcal/g

TIEMPO FISIOLÓGICO

Tiempo metabólico

La tasa metabólica disminuye a medida que incrementa el tamaño corporal

- ✓ Lapso de vida proporcional duración latido del corazón
- ✓ Independiente del tamaño los números de latidos es igual
- ✓ Excepción humanos (durarían 20-25 años)



Tiempo de resistencia

TR = Energía disponible/energía usada

TR directamente relacionada con las disponibilidad de reservas e inversamente relacionado con la tasa de uso; inverso tasa metabólica

TAMAÑO CORPORAL Y TASA METABÓLICA

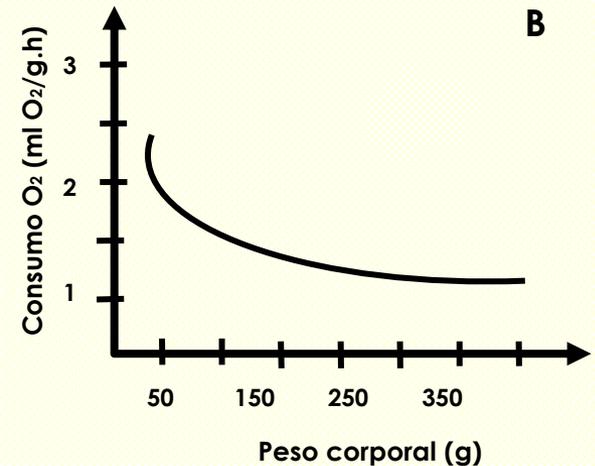
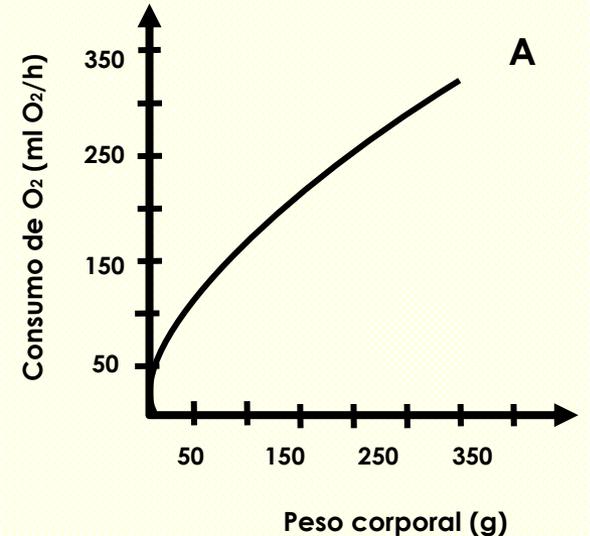
Efecto de escala

Los animales pequeños respiran a una tasa más alta que los animales grandes. Ej., la ballena y la musaraña acuática.

Los mamíferos pequeños tienen mayor número de mitocondrias (posible explicación relación inversa).

La TMB y el peso corporal (A) en mamíferos placentarios no es proporcional. Ej., un mamífero de 10 g tiene una TMB ≈ 20 ml O₂/h, mientras que uno de 100 g tiene una TMB ≈ 110 ml O₂/h.

Existe una relación inversa entre el peso corporal y la tasa metabólica específica (B). Ej., Un elefante produce tan sólo el 40% del calor metabólico por gramo que un humano de 60 Kg y $\approx 5\%$ de un ratón de 20 g.



EL PROBLEMA DE LA POLUCION AMBIENTAL AFECTARIA MAS A LOS ANIMALES PEQUEÑOS

Relación superficie-volumen

El área de la superficie de una esfera es proporcional al cuadrado del radio (r^2) y el volumen al cubo del radio (r^3).

Cuando una esfera aumenta de volumen, su área sólo aumenta con la potencia de $2/3$ del volumen ($v^{2/3}$).

Cuando los objetos se hacen más grandes, la relación superficie/volumen descende.

Esferas más grandes tienen menos área superficial por unidad de volumen (peso) que las pequeñas.

Hipótesis de Rubner: la tasa metabólica de homeotermos es aprox proporcional a la superficie corporal.
Ley de Kleiber: la tasa metabólica se relaciona con la masa corporal con el exponente 0.75
Pero otras mediciones muestran que la proporcionalidad es más con el área de sección transversal.

TEMPERATURA, MEDIO AMBIENTE Y METABOLISMO

TRANSFERENCIA DE CALOR

CALOR → AGITACIÓN MOLECULAR → ↑ ACTIVIDAD QUÍMICA



Mecanismos: según un gradiente térmico

Radiación: emisión de calor en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio.

Conducción: paso de calor entre dos cuerpos que están en contacto, según conductividad térmica.

Convección: Transferencia de calor en un fluido (agua o aire) cuando su porción calentada asciende y la fría desciende a ocupar su lugar.

Evaporación: Transformación de un líquido en gas, mediante la utilización de mucha energía.



ORGANISMOS Y RANGO ÓPTIMO DE TEMPERATURA

Las reacciones bioquímicas pueden funcionar sólo en un margen de temperatura limitado.

Temperatura letal: temperatura más allá de la cual la supervivencia es imposible.

PSICROFILOS
<20°C

MESOFILOS
20-45°C

TERMOFILOS
>45°C

COEFICIENTES Y CARACTERÍSTICAS DE LA TEMPERATURA

Temperatura \longrightarrow velocidad de las reacciones bioquímicas

Q_{10} = velocidad a la que se incrementa una reacción con un aumento de 10°C en la temperatura.

$$Q_{10} = (K_1/K_2)^{10/(t_1 - t_2)}$$

K_1 y K_2 = constantes de velocidad a las temperaturas t_1 y t_2 .

RELACIONES TÉRMICAS

Las propiedades físicas del agua son importantes para las relaciones térmicas en las plantas y los animales. Tiene un calor específico elevado y calores latentes de fusión elevados evaporación

Temper corporal

Fuente de calor

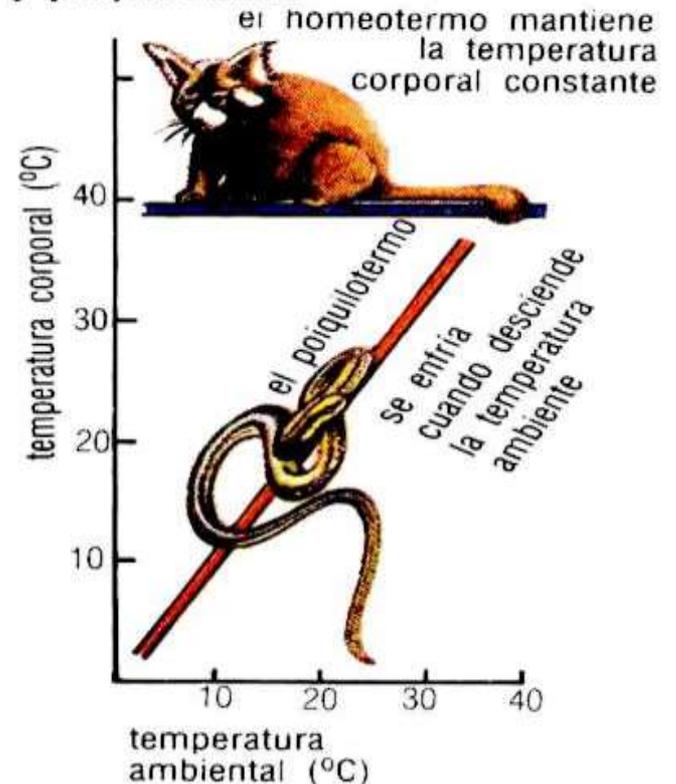
Homeotérmos/
Poiquilotérmos/

Endotermos

Ectotermos

Heterotermos

comparación de animales homeotermos y poiquilotermos



POIQUILOTERMOS

- Bajas tasas de producción de calor metabólico
- Alta conducción termal (absorben y pierden calor fácilmente)
- Regulan temperatura con el comportamiento.

HOMEOTERMOS

- Mantienen su temperatura corporal constante, independiente de la ambiental.
- Están bien aislados
- Mantienen el calor a un costo metabólico alto. Así, la TME de un endotermo >5 ectotermo de igual tamaño y peso.

HETEROTERMOS TEMPORALES

- Varían ampliamente su temperatura en el día.
- Tienen temperaturas endotérmicas en la actividad y las bajan en el descanso. Ej., camello, colibrí.

HETEROTERMOS REGIONALES

- Poiquilotermos que pueden alcanzar altas temperaturas en el núcleo por su actividad.
- La temperatura del tejido periférico y las extremidades se aproxima a la temperatura ambiental.
- Ej., los tiburones, el atún y mucho insectos voladores.

FACTORES GEOGRAFICOS

- La endotermia y la ectotermia ofrece a los animales diferentes ventajas en distintos climas.
- Los reptiles en el trópico compiten exitosamente con los mamíferos.
- En climas moderados y fríos los ectotermos son más inactivos y menos competentes como depredadores.

TASA METABOLICA DEPENDIENTE DE LA TEMPERATURA

- Las tasas metabólicas en muchos ectotermos están a merced de la temperatura corporal variable. Ej $Q_{10} = 2-3$.
- Algunos invertebrados intermareales que experimentan grandes oscilaciones en la temperatura ambiental presentan un $Q_{10} = 1.0$ (enzimas secuenciales).

ACLIMATACIÓN

Compensaciones térmicas (regulación de la velocidad de las reacciones enzimáticas)

Isoenzimas: Diferentes poblaciones de la misma especie pueden mostrar la misma actividad, pese que la temperatura ambiental de sus hábitats es diferente.

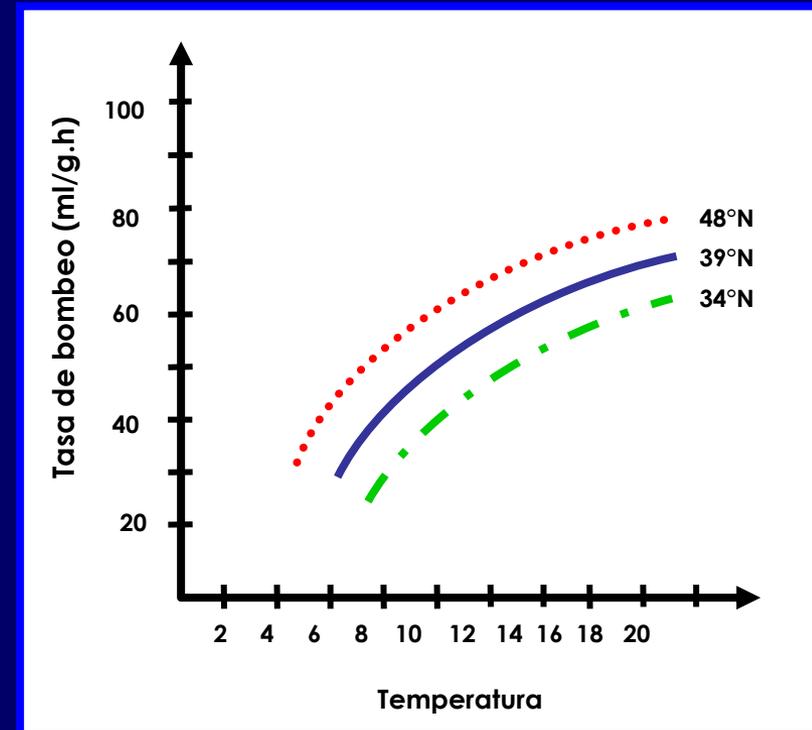
El mismo mecanismo puede operar dentro de la misma población de una estación a otra.

“El estado fisiológico actual del organismo depende de su historial ambiental”

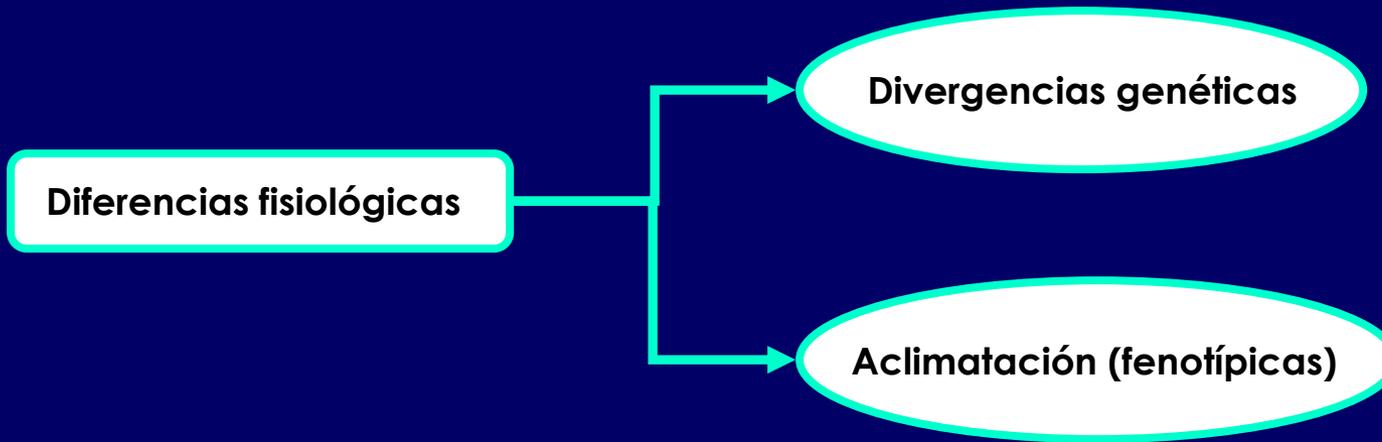
Ejemplo: Las cucarachas aclimatadas a 30°C son incapaces de moverse si la $T_c = 7.5^\circ\text{C}$, pero se si aclimatan a 14-17°C, no se inmovilizan hasta que su $T_c = 2^\circ\text{C}$.

Ejemplo

Los mejillones de aguas más frías y septentrionales bombean agua más rápido a cualquier temperatura (exposición aguda) que los procedentes de aguas más calientes y meridionales.



DIFERENCIAS GENOTÍPICAS FRENTE A FENOTÍPICAS ENTRE POBLACIONES



“Sólo se puede asumir diferencia genéticas si las diferencias fisiológicas persisten tras haber eliminado las disparidades atribuibles a la aclimatización”

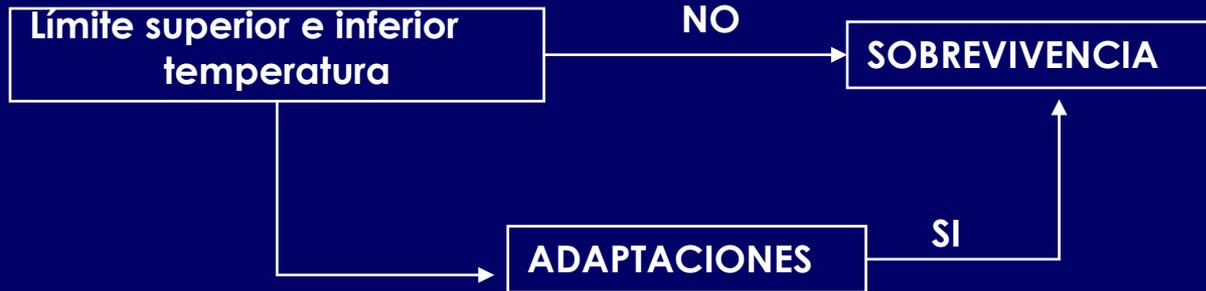
Ejemplo

Lapas (*Acea limatula*) que viven en las zonas intermareales:

- Adultos zona intermareal baja (90% del tiempo inmersos).
- Adultos zona intermareal media (50% del tiempo inmersos).

TRASPLANTES RECÍPROCOS

PROBLEMAS TERMICOS EN EL AGUA

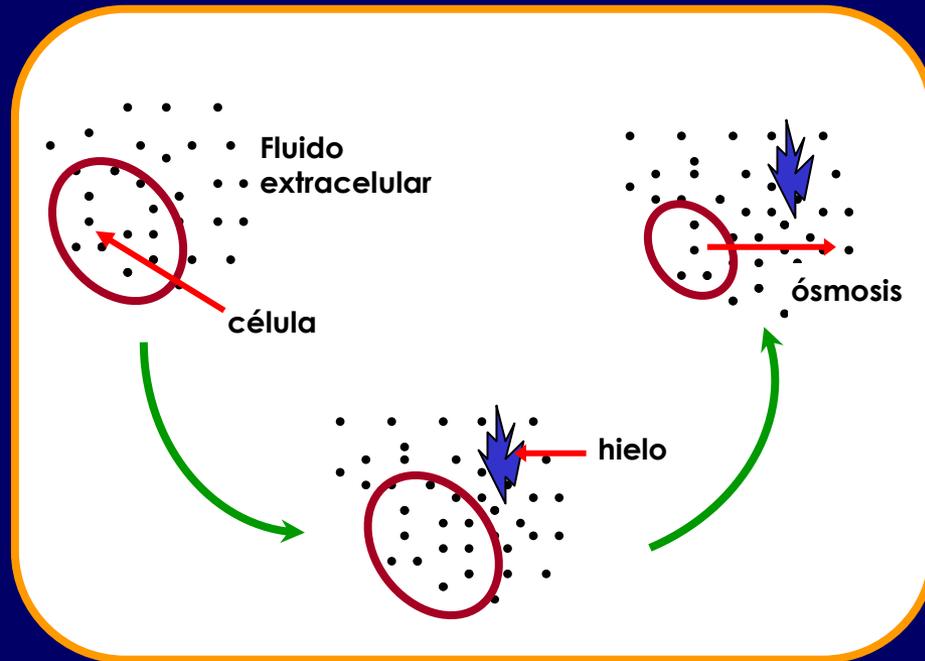


LA AMENAZA DE LA CONGELACION

♦ Producción de anticongelantes (bajan el punto de congelación). Ej., la avispa parasítica Brachon cephi (adulto -17°C , larva -47°C).

♦ Superenfriamiento (no tienen en su cuerpo agentes nucleantes).

♦ Tolerancia a la congelación (aceleran la nucleación extracelular). Ej., invertebrados sésiles de zonas intermareales.



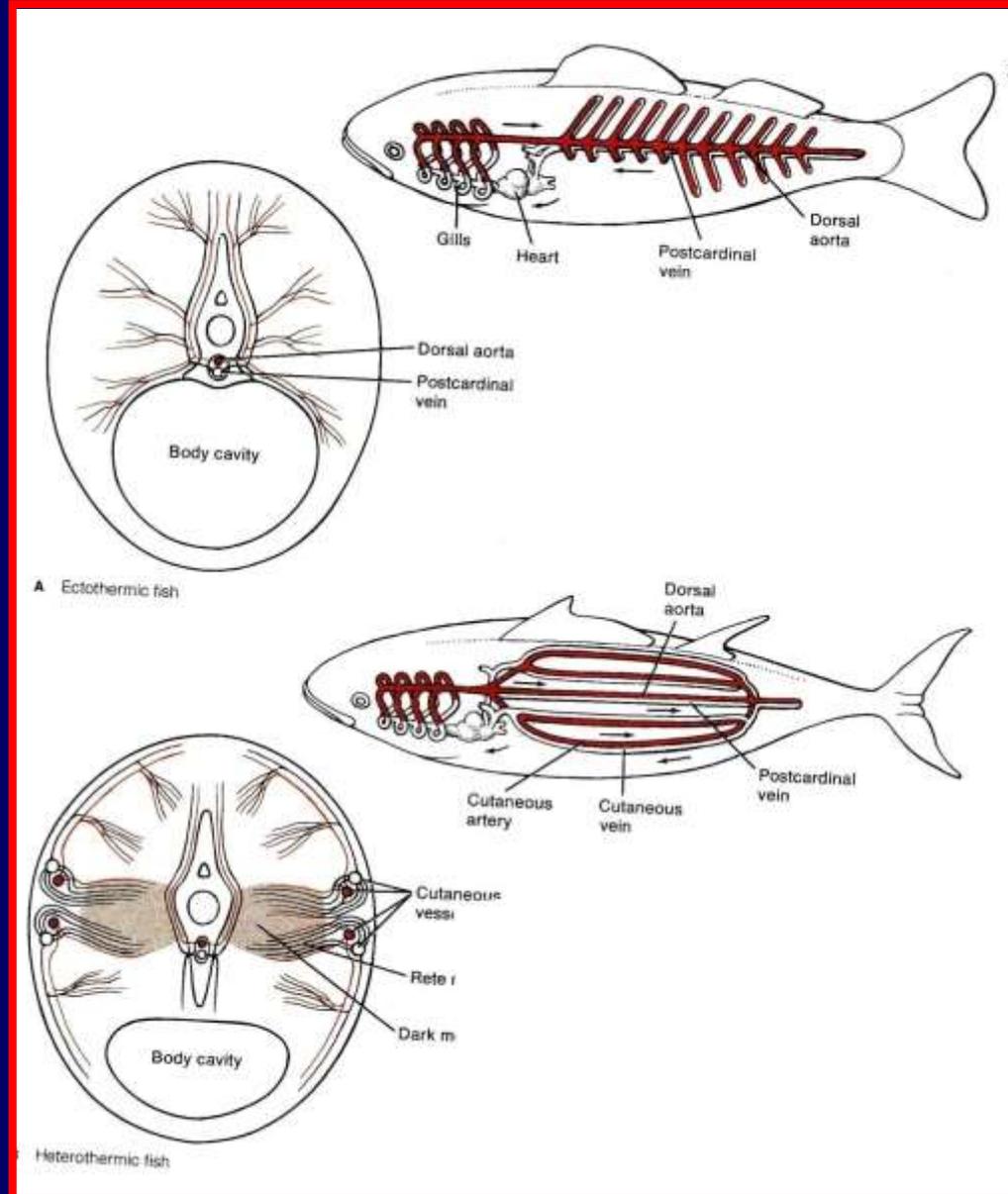
PECES DE CUERPO CALIENTE

- Algunas sp de atunes y tiburones son **heterotermos regionales**: la temperatura de los músculos nadadores es mayor.

- Estos son peces de gran tamaño y de alta velocidad de natación. Al tener gran masa, su relación superficie/volumen es menor.

- **Rete mirabile** (red admirable).

- Se desconocen mecanismos termorreguladores. Se postula que consisten en reducir la eficiencia de la **rete mirabile** a medida que la TA sube, manteniendo así una TC constante a diferentes TA.



PROBLEMAS TERMICOS EN LA TIERRA

Intercambio de calor



área de la superficie corporal

REGULACION DEL CALOR EN LOS REPTILES

1. COMPORTAMIENTO

2. FISIOLÓGICOS

JADEO

MODIFICACIONES
FISIOLÓGICAS

AJUSTE DEL COLOR



HOMEOTERMIA EN AVES Y MAMIFEROS

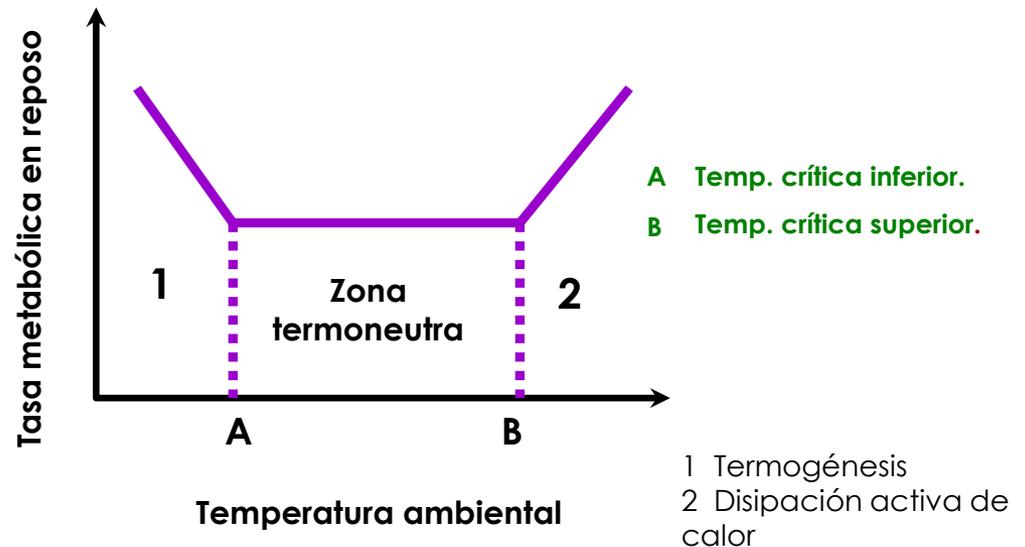
- Altas temperatura disminuyen la afinidad de la hemoglobina por el O_2 , lo que afecta las funciones de los ectotermos.
- La temperatura del núcleo se mantiene casi constante; en mamíferos entre $37-40^{\circ}C$ y en aves entre $37-41^{\circ}C$.
- Es preferible llamarlos homeotermos en vez de endotermos.

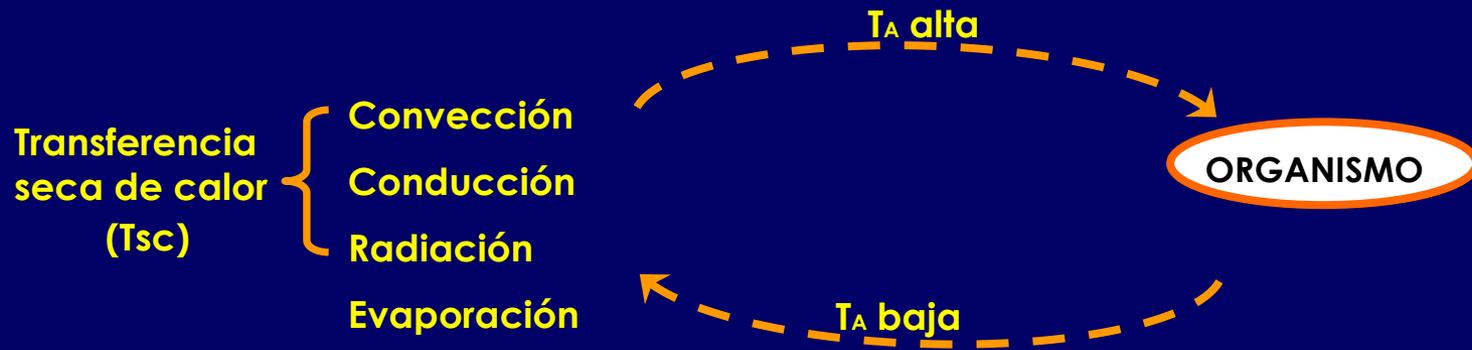
ZONA TERMONEUTRA

Es aquella zona en la que la tasa metabólica en reposo (TMB) es independiente de la T_A .

En la zona termoneutral la TMB es menor que a cualquier otra T_A .

Las T_{ci} y T_{cs} dependen de la especie y de su historial térmico.





Si se mantienen constantes todos los otros factores , entonces $T_{sc} \propto T_c - T_A$

Tc es constante si la TMB = pérdida de calor

La TMB se mantiene constante a diferentes temperaturas ambientales ¿paradoja?



Respuesta a la paradoja: AISLAMIENTO

El aislamiento contrarresta la fuerza motriz de la pérdida de calor (Tc - TA).

Ratón (30 a 35°C) > ZONA TERMONEUTRA > Perro esquimal (-25 a 30°C)

TEMPERATURA POR DEBAJO DE LA TERMONEUTRALIDAD

- Si la T_A desciende, la $(T_c - T_A)$ irá aumentando, entonces el animal incrementa el aislamiento y así evita tener que producir calor.
- En la T_{ci} el aislamiento es inadecuado para contrarrestar la $(T_c - T_A)$, entonces el animal tiene que subir la tasa de producción de calor.

- Si la T_A aumenta se dificulta la pérdida de calor en el animal y la $(T_c - T_A)$ se reduce.
- En la T_{cs} el aislamiento es reducido al mínimo.
- Si la T_A aumenta demasiado la $(T_c - T_A)$ + evaporación son insuficientes para disipar el calor metabólico.
- En un estrés alto de calor el animal aumenta su tasa metabólica ¿Paradójico? No, es el precio para incrementar el enfriamiento evaporativo.

TEMPERATURA POR ENCIMA DE LA TERMONEUTRALIDAD

HIPERTERMIA

El animal permite que suba la T_c varios $^{\circ}\text{C}$, lo que disminuye la $(T_c - T_A)$.
Se evita hacer uso activo del agua corporal.

AISLAMIENTO

Resistencia global a la transferencia seca de calor entre el interior del cuerpo y su ambiente.

$I = (T_c - T_A)/M$ donde M = masa; I = aislamiento

CONDUCTANCIA

Facilidad global con la que el calor se mueve entre el interior corporal y el ambiente. $C = 1/I$

MECANISMOS QUE VARIAN EL AISLAMIENTO

- ✓ Respuestas pilomotoras o ptilomotoras
- ✓ Alteración del flujo sanguíneo periférico o superficial.
- ✓ Cambio de postura.

MODOS DE AUMENTAR LA PRODUCCION DE CALOR POR DEBAJO DE LA TERMONEUTRALIDAD

✦ ESCALOFRIOS

Contracciones de la musculatura esquelética relativamente descontroladas mediadas por el SN.

✦ TERMOGENESIS SIN ESCALOFRIO

Tejido adiposo pardo (TAP).

El TAP se encuentra en adultos aclimatados al frío, adultos aclimatizado al invierno, en los hibernadores y en los neonatos.

El TAP se ubica en la región interescapular, el cuello, las axilas y el abdomen.

El TAP tiene un alto número de mitocondrias. Densamente innervado por el SNA-S (libera noradrenalina).

Elevada proliferación de vasos sanguíneos. El calor liberado del TAP llega directamente al sistema vascular.

✦ HETEROTERMIA REGIONAL

Las extremidades pierden más calor.
Pueden modular el suministro de calor.

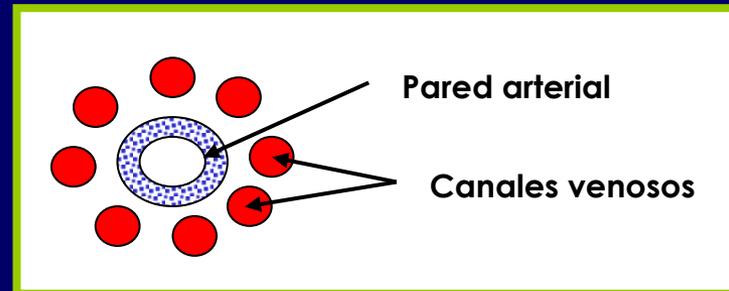
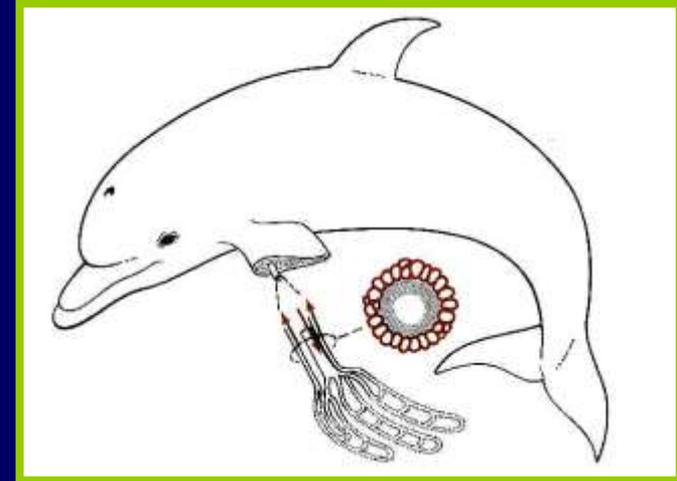
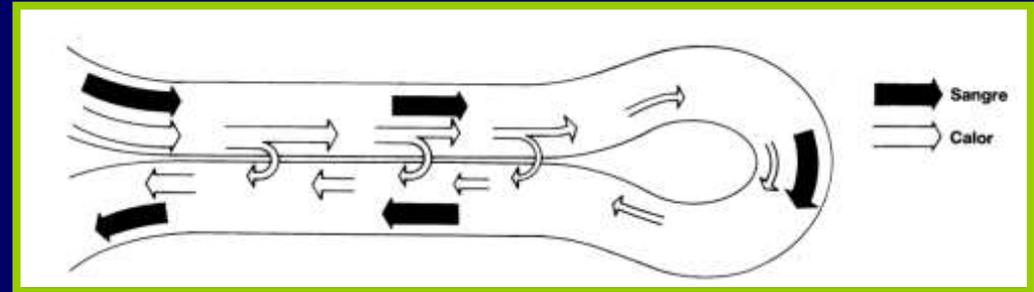
✦ INTERCAMBIO DE CALOR POR CONTRACORRIENTE

- El reducir el flujo sanguíneo es inespecífico.

- El intercambio por contracorriente es específico.

- Cuando las venas están yuxtapuestas a las arterias, el calor se conserva: Las venas toman el calor perdido por las arterias y lo conducen de nuevo hacia el interior.

- Existen disposiciones vasculares que varían anatómicamente. Ej., las aletas de los delfines; la **rete mirabile** en armadillos, perezosos, tiburones, etc.



RESPUESTAS A LAS CARGAS ELEVADAS DE CALOR

AISLAMIENTO EN AMBIENTES CALIDOS



Un aumento en el aislamiento retarda la entrada de calor.

OSCILACIONES CICLICAS



La T_c presenta ciclos para reducir la evaporación. Ej., el camello; la ardilla antílope.

MANTENIENDO FRESCO EL CEREBRO



El enfriamiento del cerebro ocurre por contracorriente. La sangre venosa enfriada en los conductos nasales intercambia calor con la sangre arterial que viene del corazón.

TRANSPIRACION



Pérdida de agua a través de la piel. Se da en aves y mamíferos.

SUDORACION



Eliminación directa del agua a través de las glándulas sudoríparas. En las aves no existe.

JADEO

- Aumento en la frecuencia respiratoria.
- Ocurre evaporación en las vías respiratorias, donde ocurre la saturación con vapor de agua del aire que entra.
- Cuando se espira, el aire se lleva el vapor de agua.

Ventajas:

- No hay pérdida de sales como en la sudoración.
- El aire saturado de vapor es conducido lejos de las superficies evaporativas. En la sudoración depende del viento externo o la convección libre.

Desventajas:

Exige demasiado esfuerzo muscular.

Puede provocar alcalosis respiratoria, es decir, la elevación del pH de los fluidos corporales por la eliminación excesiva de CO₂.



Cuando las aves y los mamíferos jadean frente a un calor ligero o moderado no se produce alcalosis.

Ejemplo:
Los perros respiran de 10-40 veces/min .
Aumentan a 200 veces/min cuando jadean.

OSCILACION GOLAR



Aumento de la evaporación mediante oscilaciones rápidas del área golar, mientras mantienen la boca abierta.

No induce alcalosis y el esfuerzo muscular es menor.

ESPARCIMIENTO DE SALIVA



Muchos roedores y marsupiales esparcen saliva para aumentar el enfriamiento.

Se usa sólo en situaciones de emergencia.

Mecanismos de control

El hipotálamo y los tejidos preópticos son los principales lugares donde se lleva a cabo las funciones de control de la termorregulación. Funciona como un termostato operando con mecanismos de retroalimentación

LETARGO

Reducción de las actividades del organismo, incluyendo tasa metabólica reducida

SUEÑO

En mamíferos el sueño está asociado con una disminución en la Tc y la sensibilidad de la temperatura hipotalámica.

TORPOR

Es la disminución de la Tc en períodos de inactividad (cortos) cuando no se alimentan. Ej colibrí, musarañas.

HIBERNACIÓN

Cuando los animales pasan el invierno en una condición de reposo por más tiempo. Gran disminución de la temperatura corporal. Los verdaderos hibernantes son mamíferos pequeños (roedores, insectívoros).

SUEÑO
INVERNAL

No existen una sustancial caída de la Tc. Los animales están "enroscados" en microhábitats protegidos. Ej los osos.

ESTIVACION

Estado de reposo en respuesta al calor o la desecación. Ej el caracol Helix sp