

Universidad Nacional de Río Negro

Física III B – 2020

- **Unidad** 04
- **Clase** U04 C07 / 28
- **Fecha** 25 Jun 2020
- **Cont** Tópicos finales
- **Cátedra** Asorey
- **Web** <http://gitlab.com/asoreyh/unrn-f3b>



Contenidos: Termodinámica alias Física IIIB, alias Física IVA

Unidad 1

El Calor

Hace calor

Unidad 2

Primer principio

Todo se transforma

Unidad 3

Segundo Principio

Nada es gratis

Unidad 4

Aplicaciones

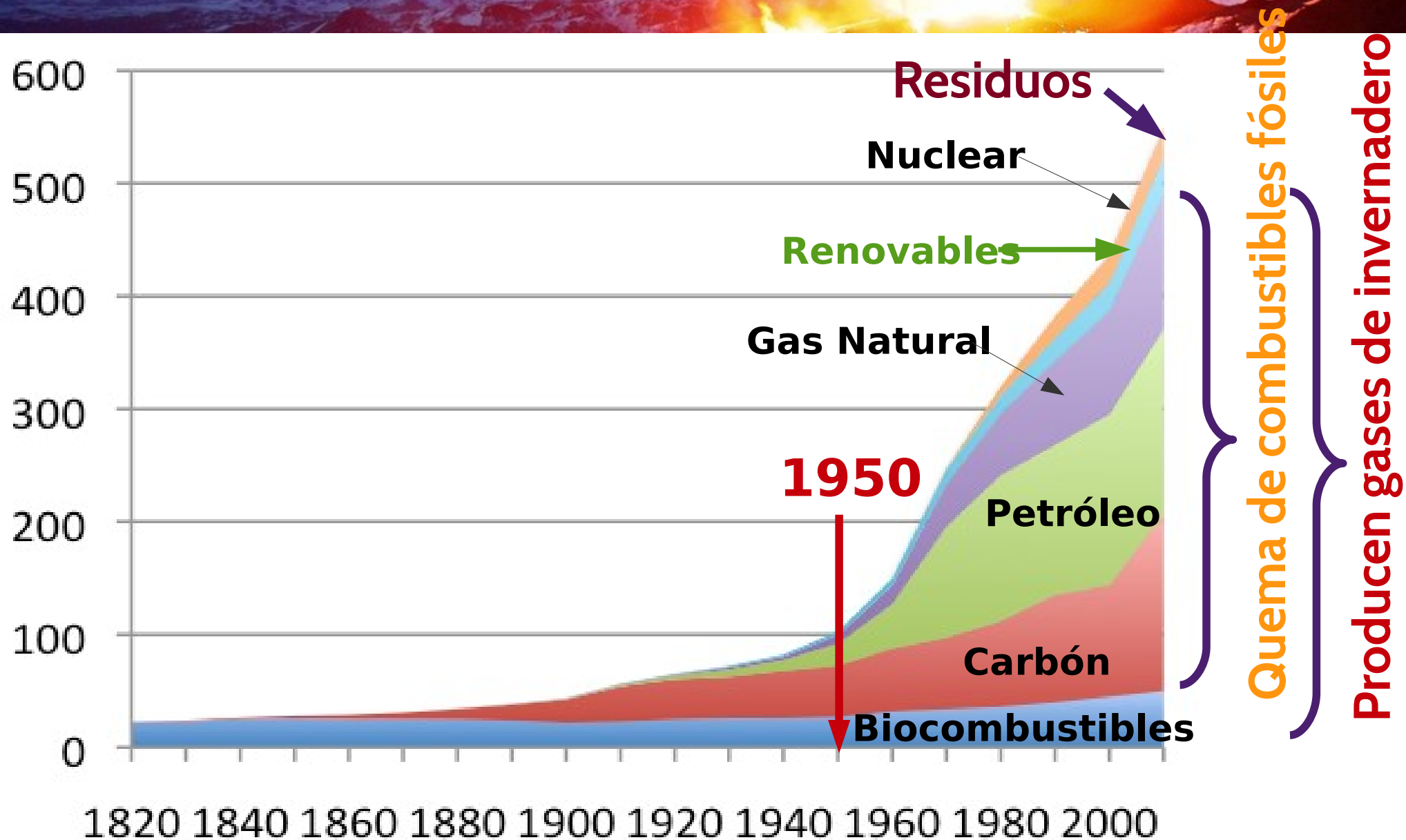
Es lo que hay

Bloque 2 - Unidad 4: Aplicaciones

Del de 02/Jun al 25/Jun (8 encuentros)

- Transferencia de calor: radiación, conducción y convección. Ley de Newton. Conductores y aislantes del calor. Ley de Fourier. Aplicaciones hogareñas. Termodinámica de la vida. Energía y humanidad. Calentamiento global.

Demanda anual de energía ($\times 10^{18}$ J)

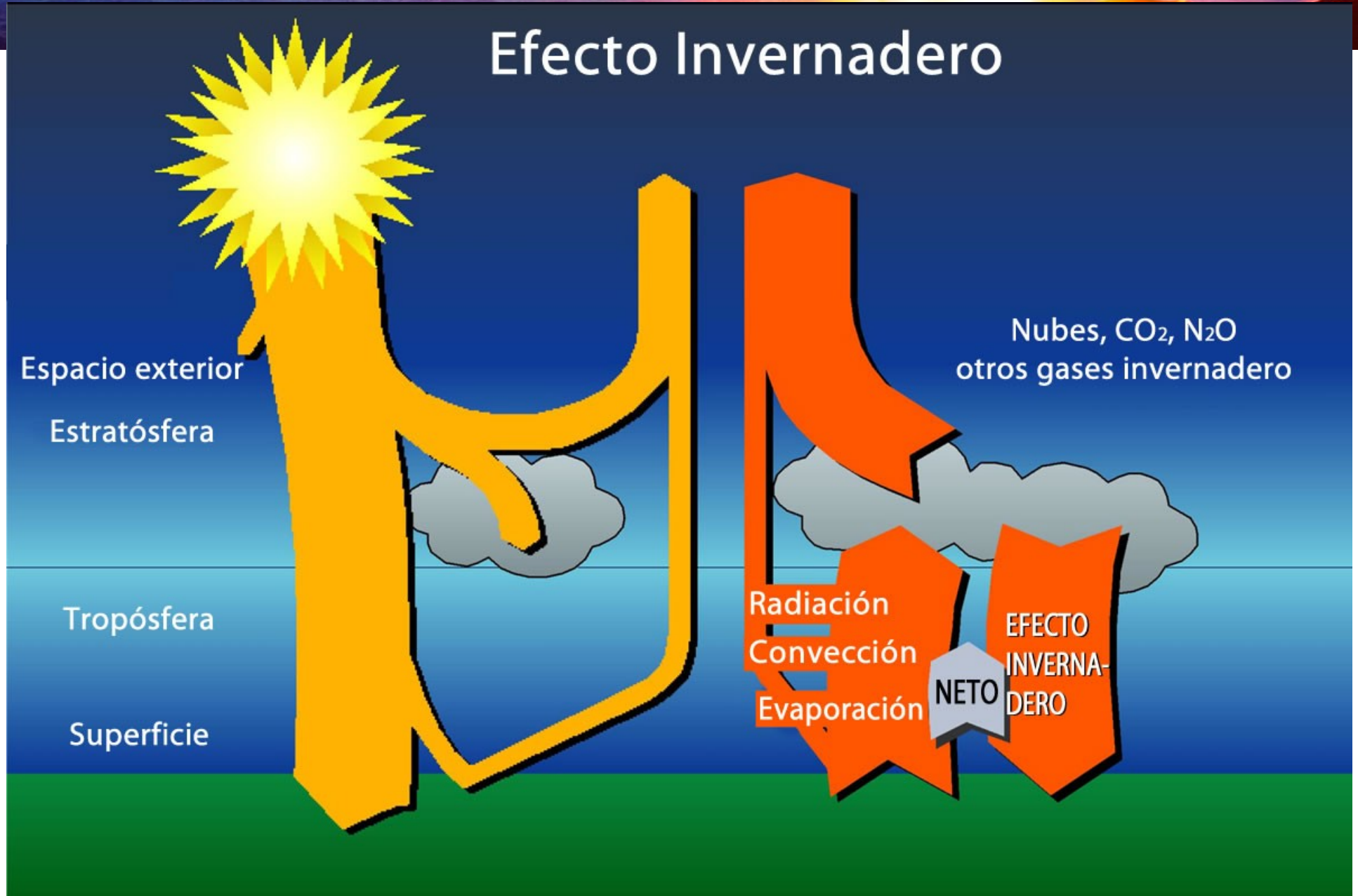


Un “pequeño detalle”

- Quemar un barril de petróleo libera ~300 kg de CO₂
- El año pasado quemamos ~70 mil millones de barriles
- y liberamos ~25 billones de kg de CO₂
- que terminaron en la atmósfera

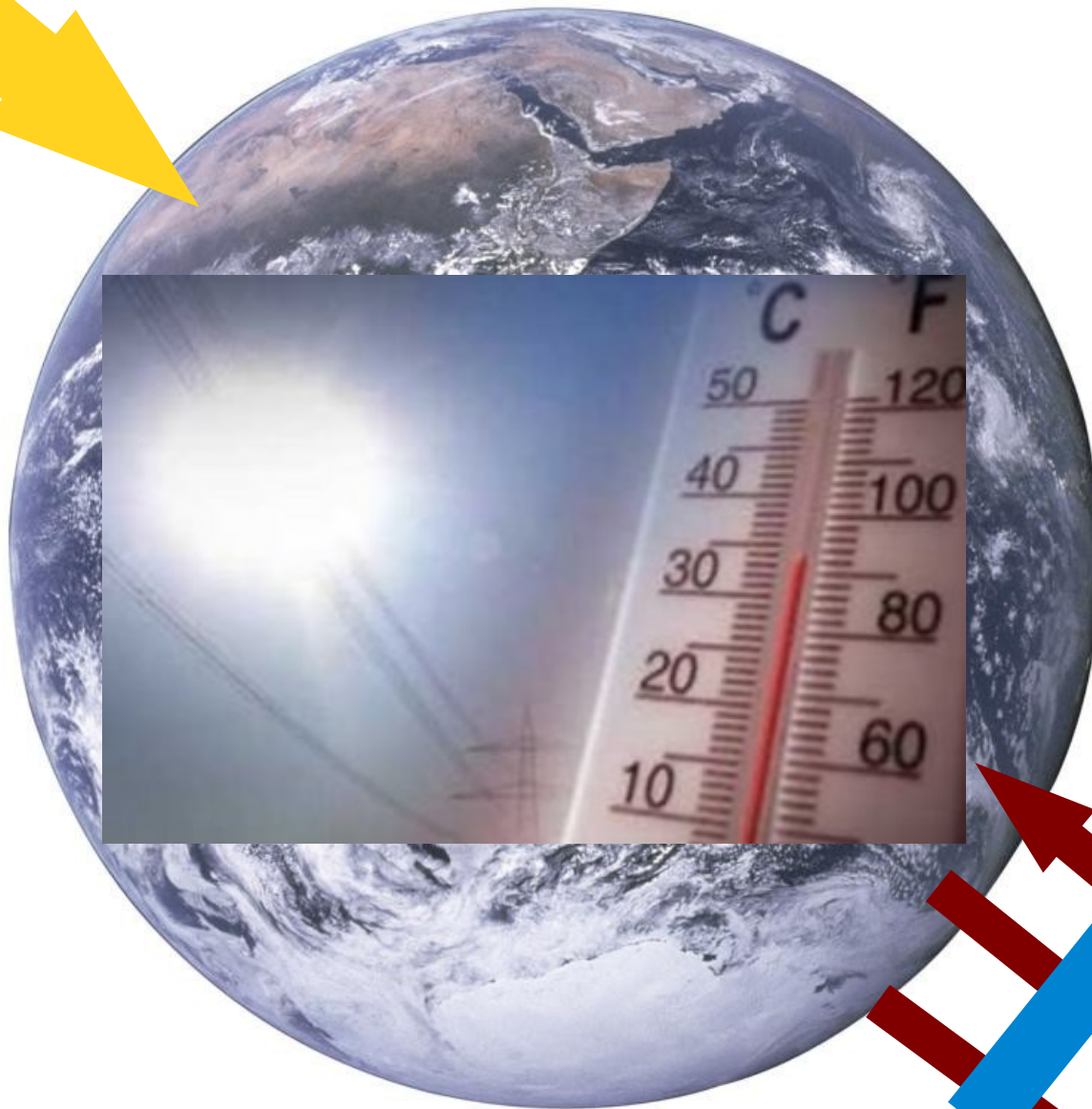
<http://numero57.net/2008/03/20/carbon-dioxide-emissions-per-barrel-of-crude/>

Efecto invernadero



Todo tiende al equilibrio

**¡La Tierra se
calienta y
alcanza un
nuevo
equilibrio
térmico!**

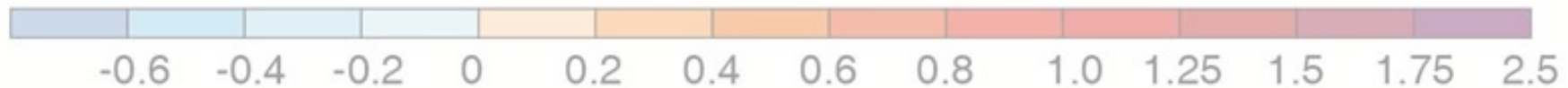


Steffan-Boltzman

$$L = A \sigma T^4$$

“El calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde 1950s, muchos de los cambios observados no tienen precedentes en tiempos de décadas a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, las cantidades de nieve y hielo se han reducido, el nivel del mar ha aumentado, y las concentraciones de gases invernadero se han incrementado.”

AR5 WG1, IPCC, 2013



Tendencia (°C sobre todo el período)

¿¿¿YO NO FUI??? ¿En serio?

La influencia humana ha sido detectada en el calentamiento de la atmósfera y del océano, en cambios en el ciclo global del agua, en las reducciones de la nieve y del hielo, en el aumento medio global del nivel del mar y en algunos climas extremos [...] Es extremadamente posible (95%-100%) que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX.

≡ Observations

■ Models using only natural forcings

■ Models using both natural and anthropogenic forcings

Estamos a tiempo

Recicla

Reforesta

Responsabilízate

Reusa

Reduce

Reflexiona



Los cuatro jinetes (Apocalipsis, Víktor Vasnetsov, 1887)



Principio Cero de la Termodinámica: Equilibrio térmico → temperatura

- **Principio** → es una **regla** que cuyo cumplimiento **se verifica experimentalmente** y que **aún** no ha podido **refutarse**, pero tampoco probarse
- **Principio cero:**

Si dos objetos están en equilibrio térmico con un tercer objeto, entonces los tres están en equilibrio térmico entre sí.

- Esta definición → **escala de temperaturas**

Primer principio de la termodinámica: Conservación de la energía → energía interna

- La **conservación de la energía** para un **sistema termodinámico** se expresa de la siguiente forma

$$Q = \Delta U + W$$

Primer principio
de la termodinámica

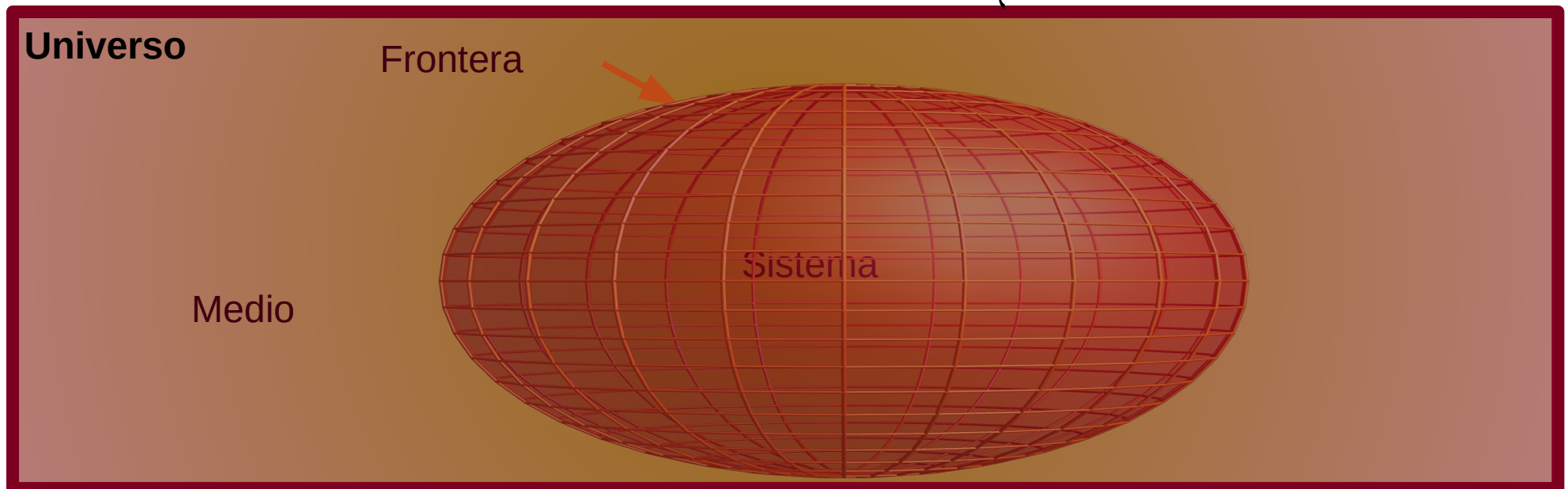
Nada se gana, nada se pierde, todo
se transforma

Segundo principio de la termodinámica: irreversibilidad de sistemas físicos → entropía

- Si consideramos → **Universo = Sistema + Medio**
- → **el universo es un sistema aislado, luego**

$$\Delta S_U = \Delta S_{SIS} + \Delta S_{AMB} \geq 0$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \Delta S_U > 0 & \text{irreversible} \\ \Delta S_U = 0 & \text{reversible} \\ \Delta S_U < 0 & \text{imposible} \end{array} \right.$$



Tercer principio de la termodinámica: estado de mínima entropía → desorden

- **S, la entropía del sistema tiende a un valor constante (que podría ser cero), a medida que la temperatura tiende a cero**

(si S no es cero → *entropía residual*)

- A temperatura cero el sistema debe estar en su estado de mínima energía

→ menor desorden → único microestado

$$S = k_B \ln \Omega$$



Potenciales termodinámicos

- **Son funciones de estado (extensivas) que se relacionan con la cantidad de energía potencial disponible en un sistema termodinámico sujeto a ciertas restricciones**
 - Las restricciones definen el tipo de potencial
 - Los potenciales definen si un proceso será espontáneo o necesitará aporte externo de energía para su ocurrencia

Potenciales termodinámicos

Potencial	Símbolo	Ecuación	Concepto
Energía interna	U	$dU = T ds - p dV$	Energía contenida en el sistema
Energía libre de Helmholtz	A	$A = U - TS$	Energía disponible en el sistema para realizar trabajo
Entalpía	H	$H = U + pV$	Energía intercambiada por el sistema con el medio
Energía de Gibbs	G	$G = U + pV - TS$	Máxima cantidad de energía que puede ser extraída de un sistema cerrado



Un sistema biológico es...

- Como un sistema termodinámico, un ser vivo es:
 - ¿abierto o cerrado?
 - ¿cíclico o una continua sucesión de estados?
 - ¿en equilibrio o fuera de equilibrio?



Un sistema biológico es...

- Como un sistema termodinámico, un ser vivo es:
 - ¿abierto o cerrado? → **abierto**
 - ¿cíclico o una continua sucesión de estados? → **cíclico**
 - ¿en equilibrio o fuera de equilibrio? → **fuera de equilibrio**

El señor Juan Carlos Irreversible

- Juan Carlos Irreversible tiene 25 años
- Juan Carlos Irreversible mide $h=1.75\text{m}$ y masa $m=80\text{kg}$
- Juan Carlos Irreversible tiene una superficie

$$\text{Área} = \sqrt{\frac{(m/\text{kg})(h/\text{cm})}{3600}} \simeq 2\text{m}^2$$

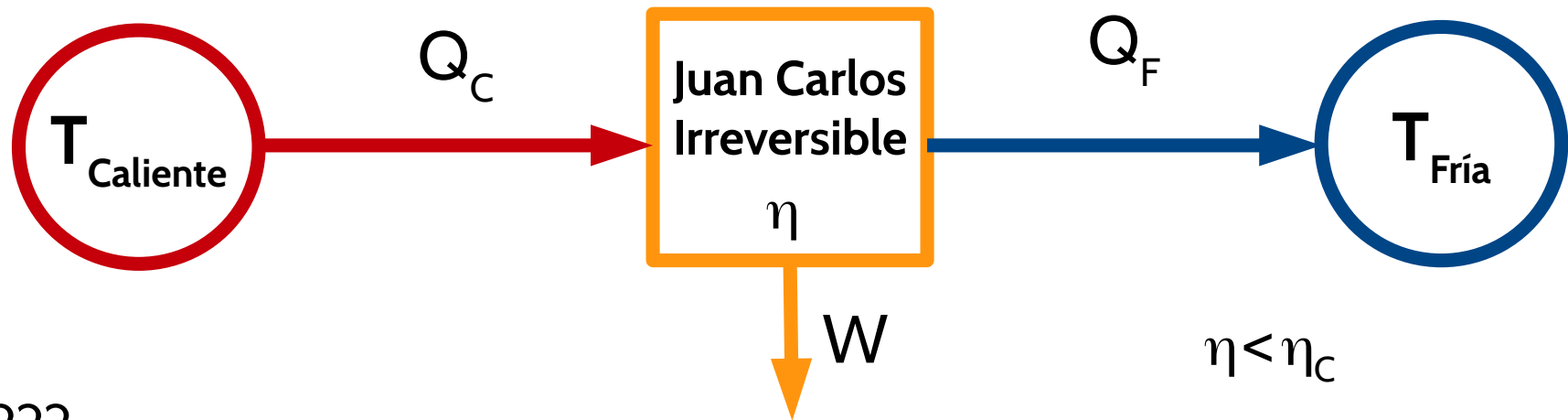
- Juan Carlos Irreversible trabaja y necesita 3000 kcal/día

$$P = 3000 \frac{\text{kcal}}{\text{día}} \times 4184 \frac{\text{kJ}}{\text{kcal}} \times \frac{1\text{ día}}{86400\text{ s}} \simeq 150\text{ W}$$

- **Sé como Juan Carlos, se Irreversible**

¿Es JCI una máquina térmica irreversible?

- ¿Qué les parece? ¿¿¿Podemos representar a JCI así...

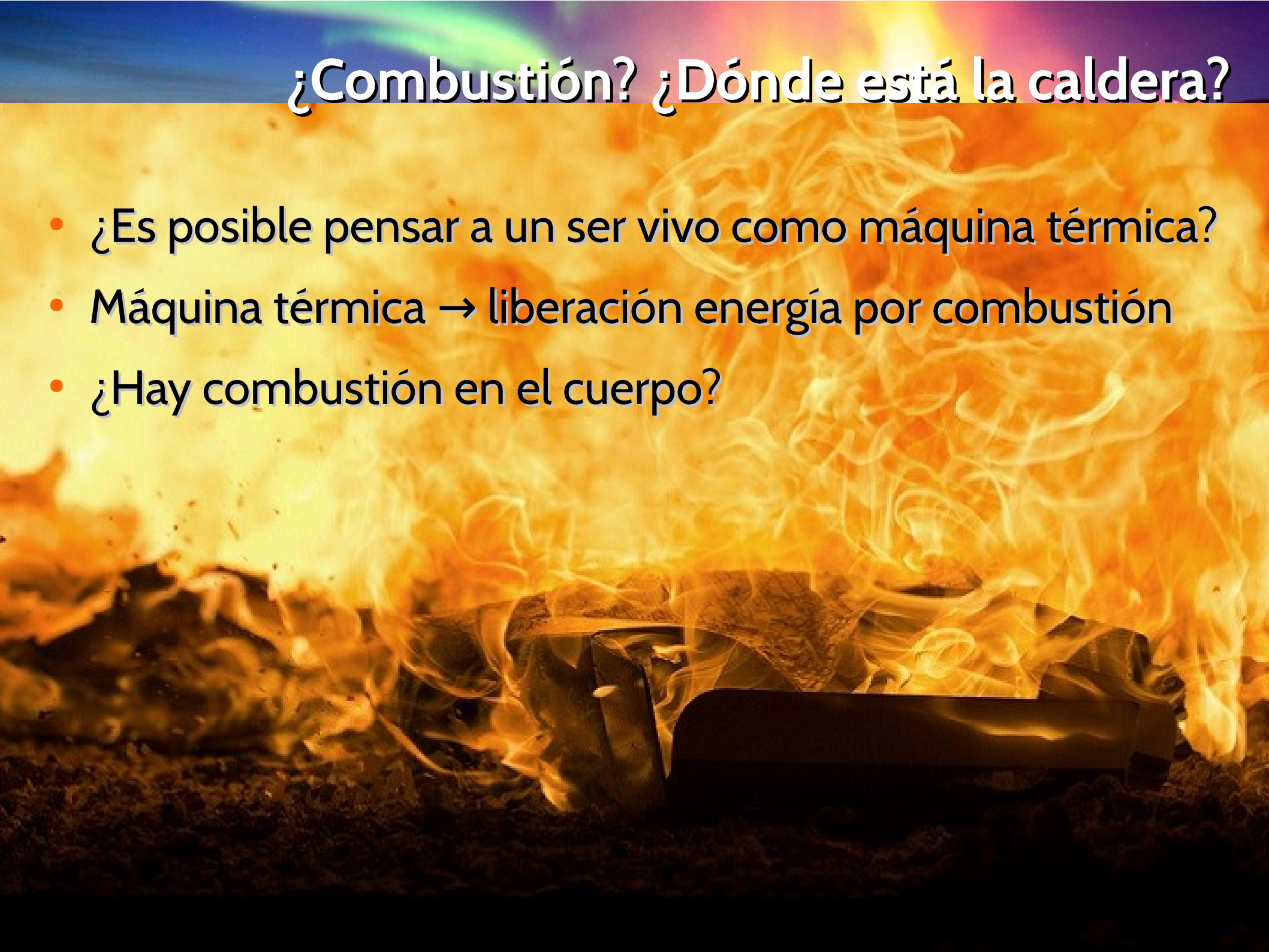


... ???

- Si lo fuera \rightarrow primer aproximación \rightarrow
 $Q_C = 150\text{J}$, $W = 50\text{J}$; $Q_F = 100\text{J} \rightarrow \eta = W/Q_C \sim 33\%$.
- ¿Qué pasa si el trabajo es sedentario? ¿Cómo medimos W ?
- ¿Qué pasa con la eficiencia de Carnot? $T_F = 293\text{K} \rightarrow T_C = 437\text{K}$ (!!)

¿Combustión? ¿Dónde está la caldera?

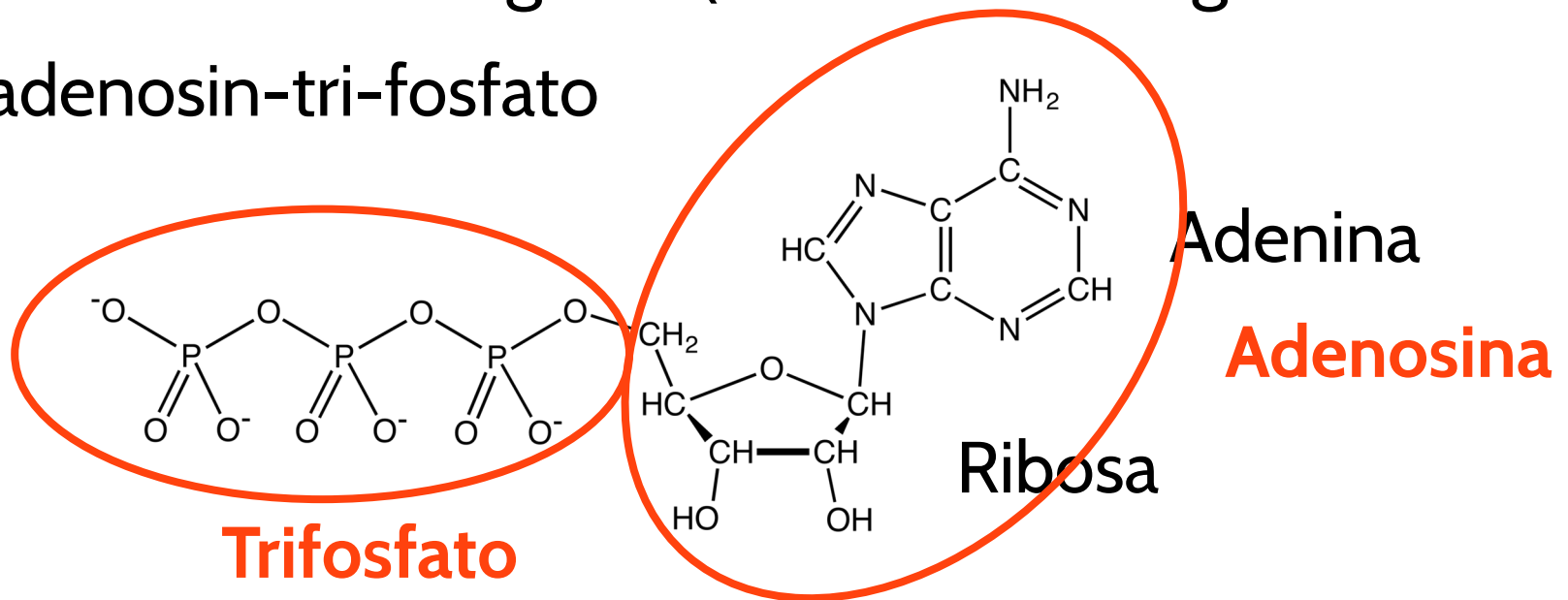
- ¿Es posible pensar a un ser vivo como máquina térmica?
- Máquina térmica → liberación energía por combustión
- ¿Hay combustión en el cuerpo?



¿Pila química?

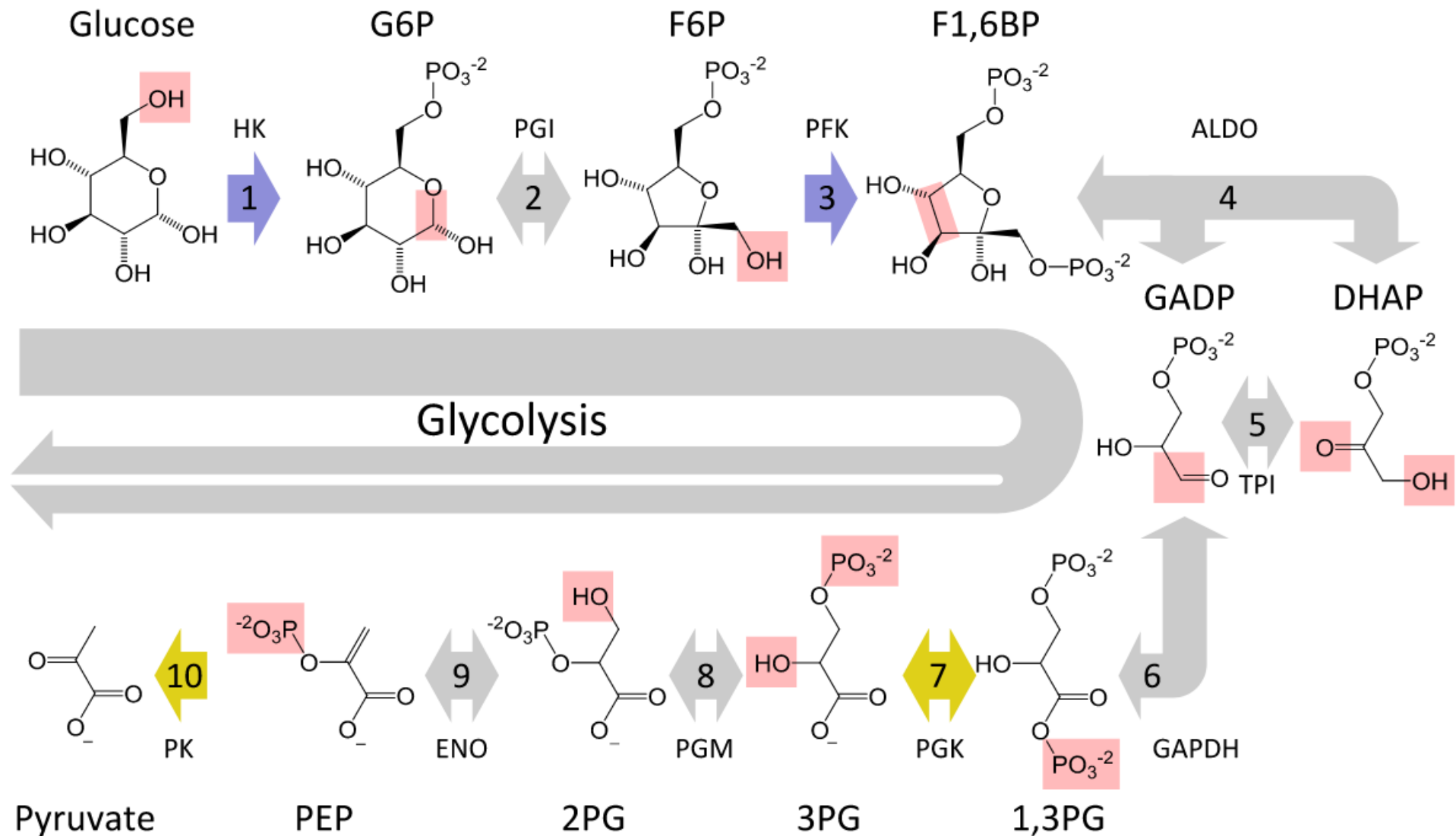
- ¿Es posible pensar a un ser vivo como máquina térmica?
- ¿Acaso no almacenamos la energía en forma química?
- JCI: 0.2 mol ATP ~ 100 g ATP (reciclamos 70kg/día de ATP)

ATP: adenosin-tri-fosfato



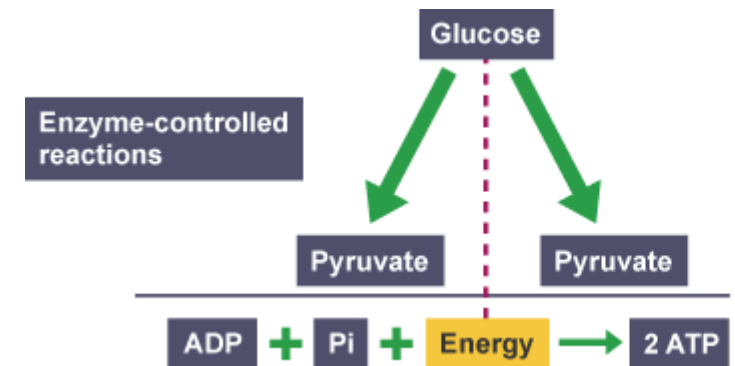
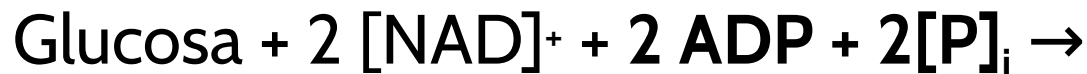
- Si, es cierto, al igual que un auto almacena combustible en el tanque...

Veamos el proceso

$$\text{Glucosa} + \text{ADP} + \text{O}_2 \rightarrow \text{ATP} + \text{CO}_2$$




- La versión corta:



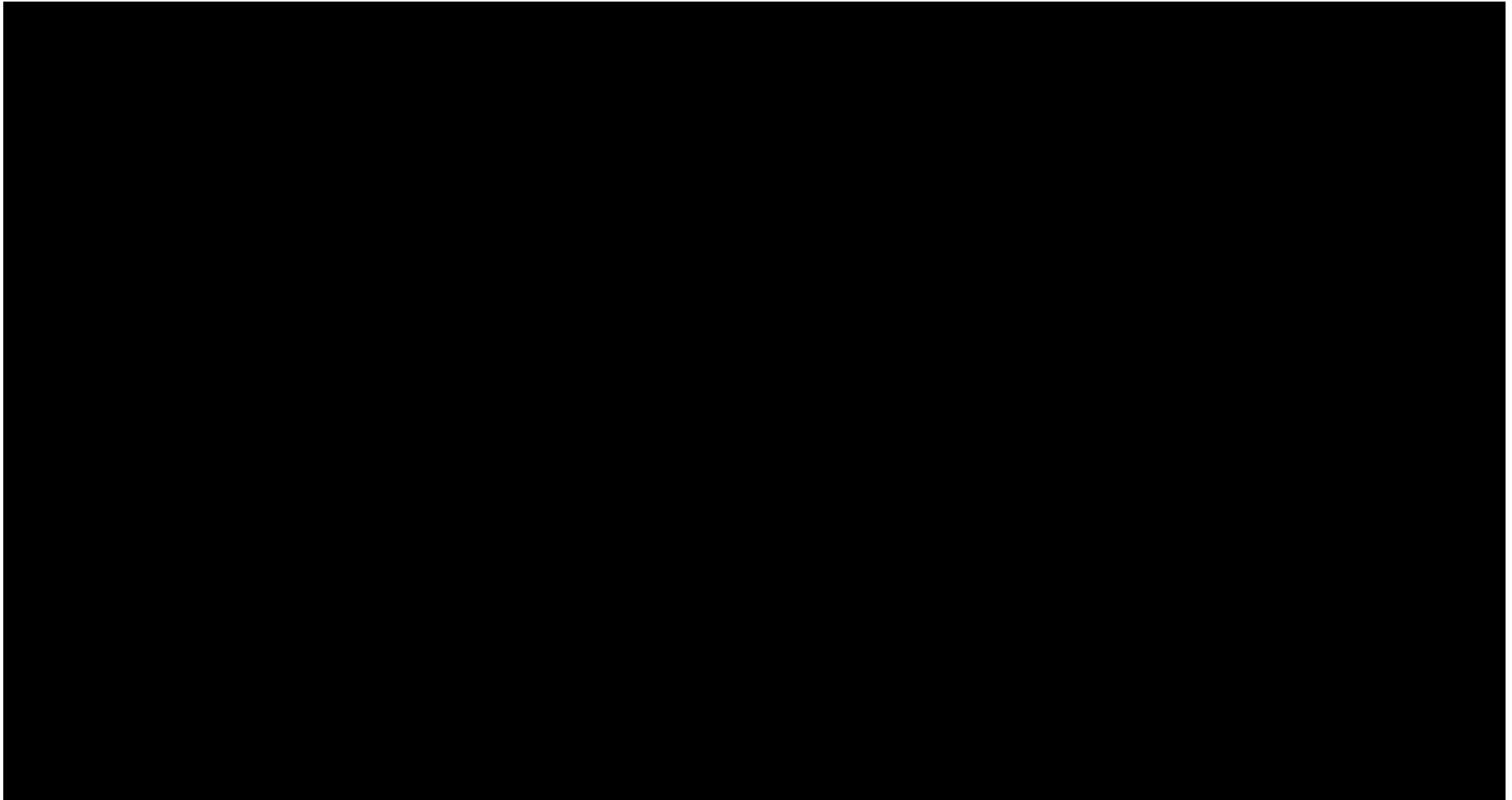
- Está catalizada por 10 encimas: encimas \rightarrow catalizan una reacción
- En la literatura se menciona que la vida está “catalizada” (por procesos encimáticos) y esto lleva a un

catálisis \rightarrow **aumento de eficiencia** \rightarrow **falso**.

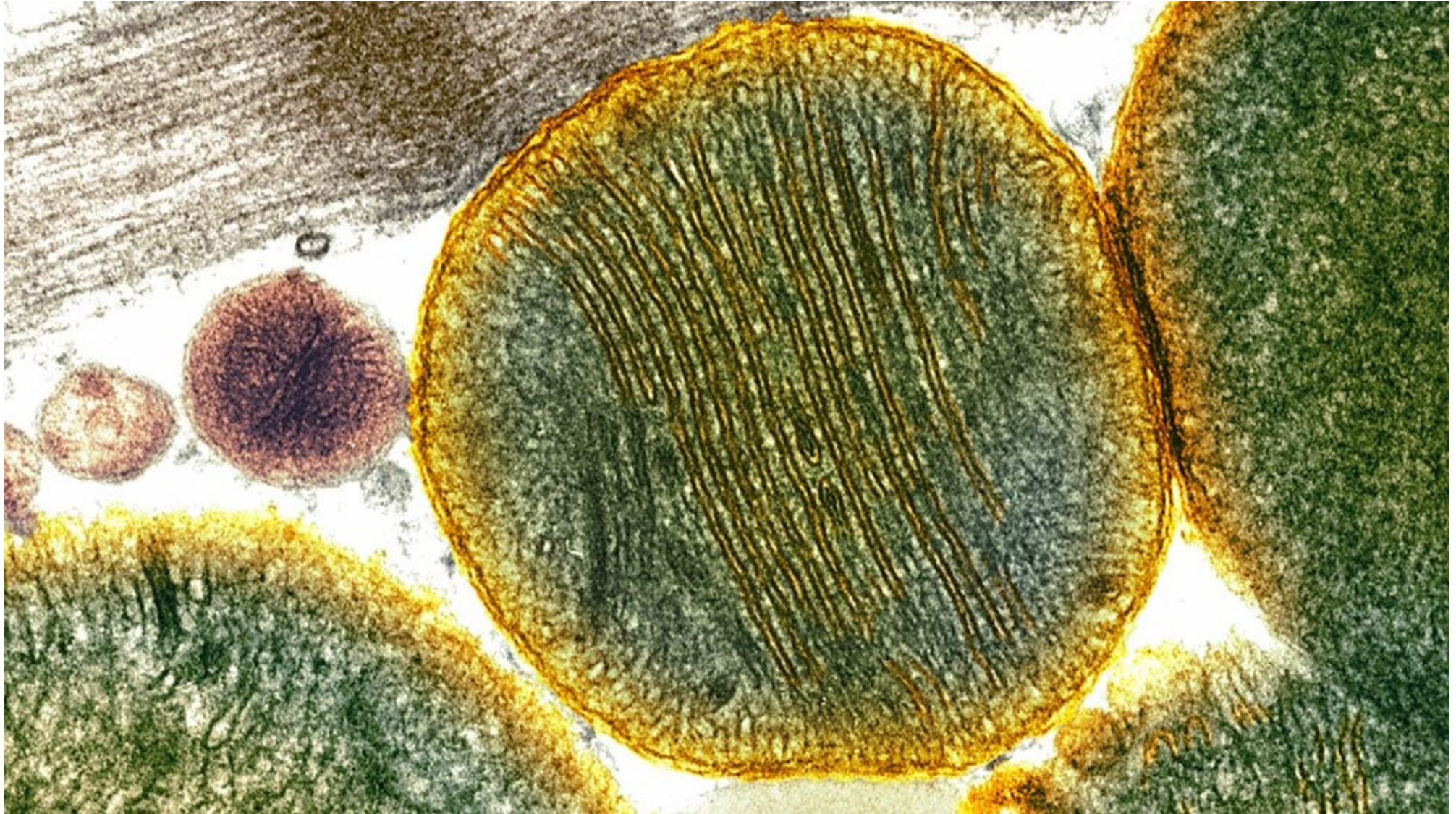
- Encimas \rightarrow aumentan la velocidad de la reacción (hasta 10^{11}).

ATP-sintasa (hasta 400 vueltas por segundo)

(ver u04c06-atp-sintetasa-es.mp4)

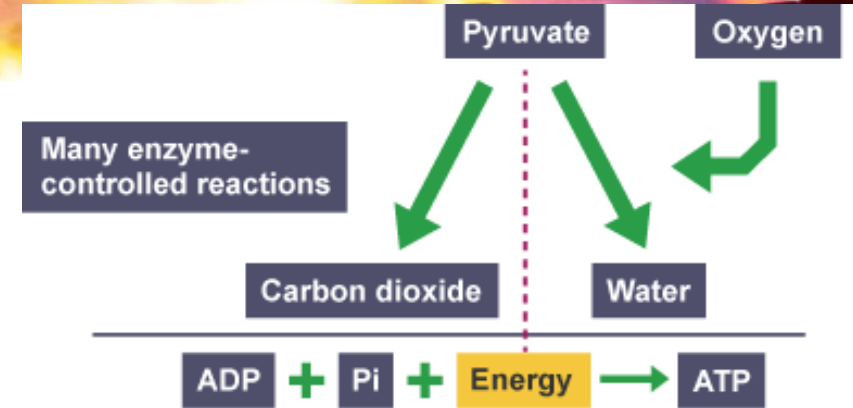
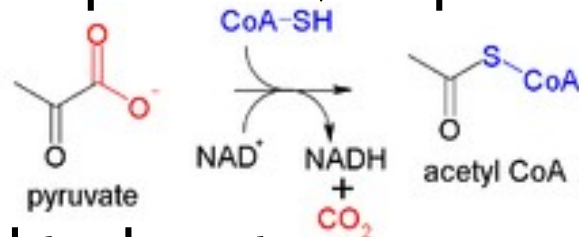


Mitocondría → la caldera



Respiración celular (aeróbica)

- Luego el piruvato, en presencia de O_2 :



- Al final todo este proceso puede resumirse como una combustión:

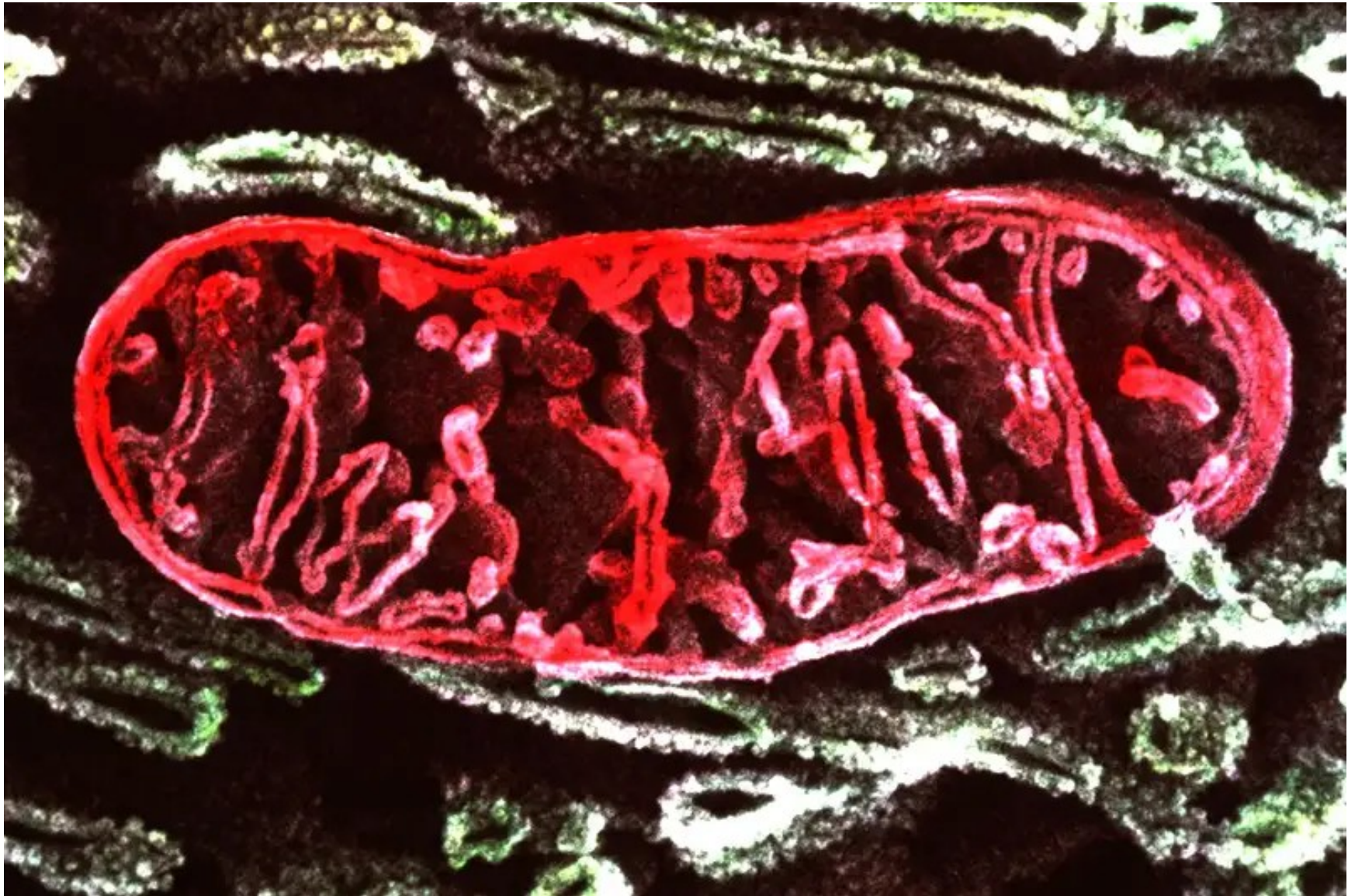


- Parte del calor Q liberado es almacenado en forma de enlaces químicos en el proceso **ADP → ATP**
- Este proceso permite almacenar químicamente la energía liberada en la combustión de la glucosa (no hubo calor aquí)



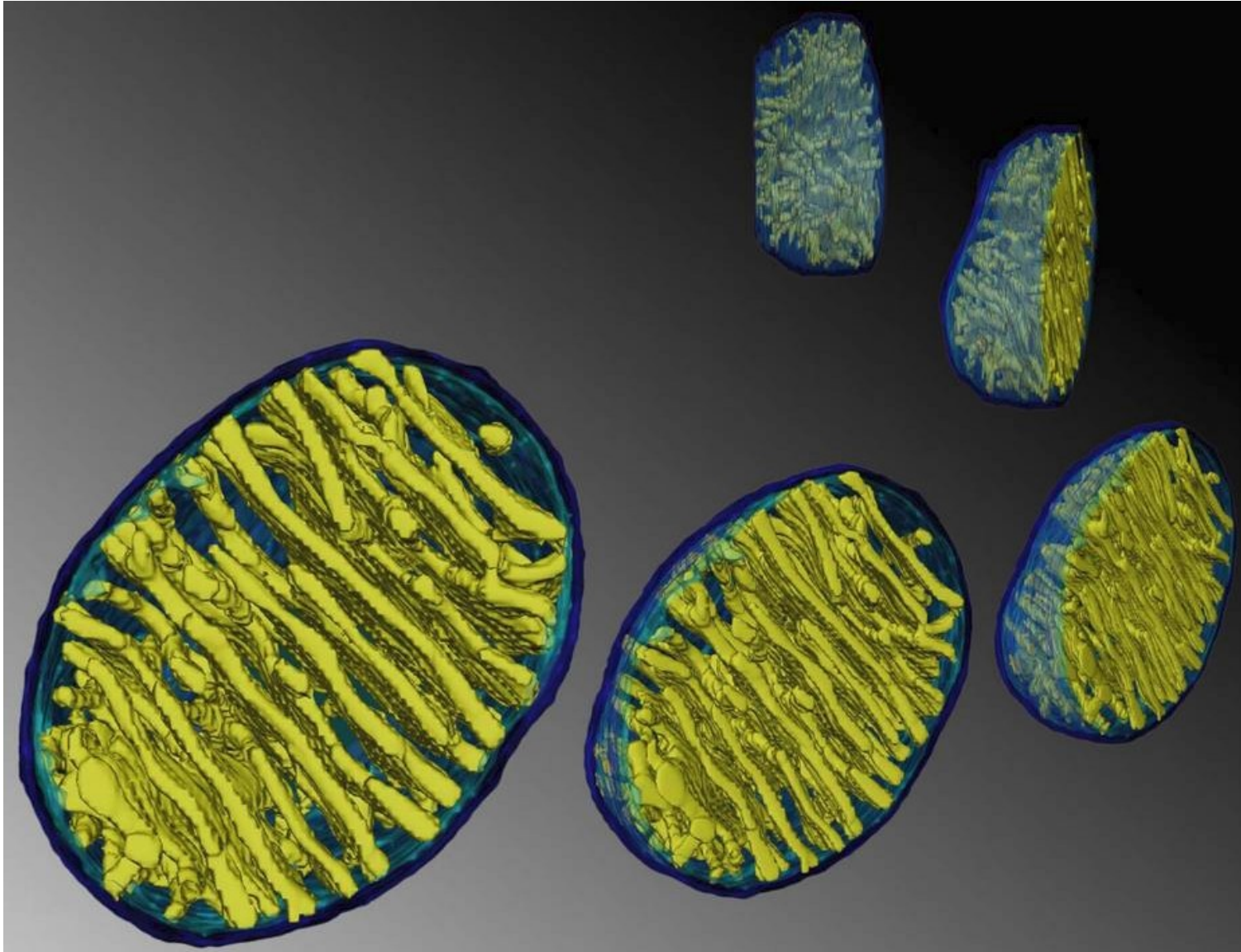
- ¡Pero en el proceso SI se libera calor en el citoplasma, y mucho, y de forma irreversible!

!!! La mitocondria sería óptima a $T \sim 50^{\circ}\text{C}$ (323K)!!!
<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/133223v2>



Mitocondria: radiadores celulares

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5784886/>

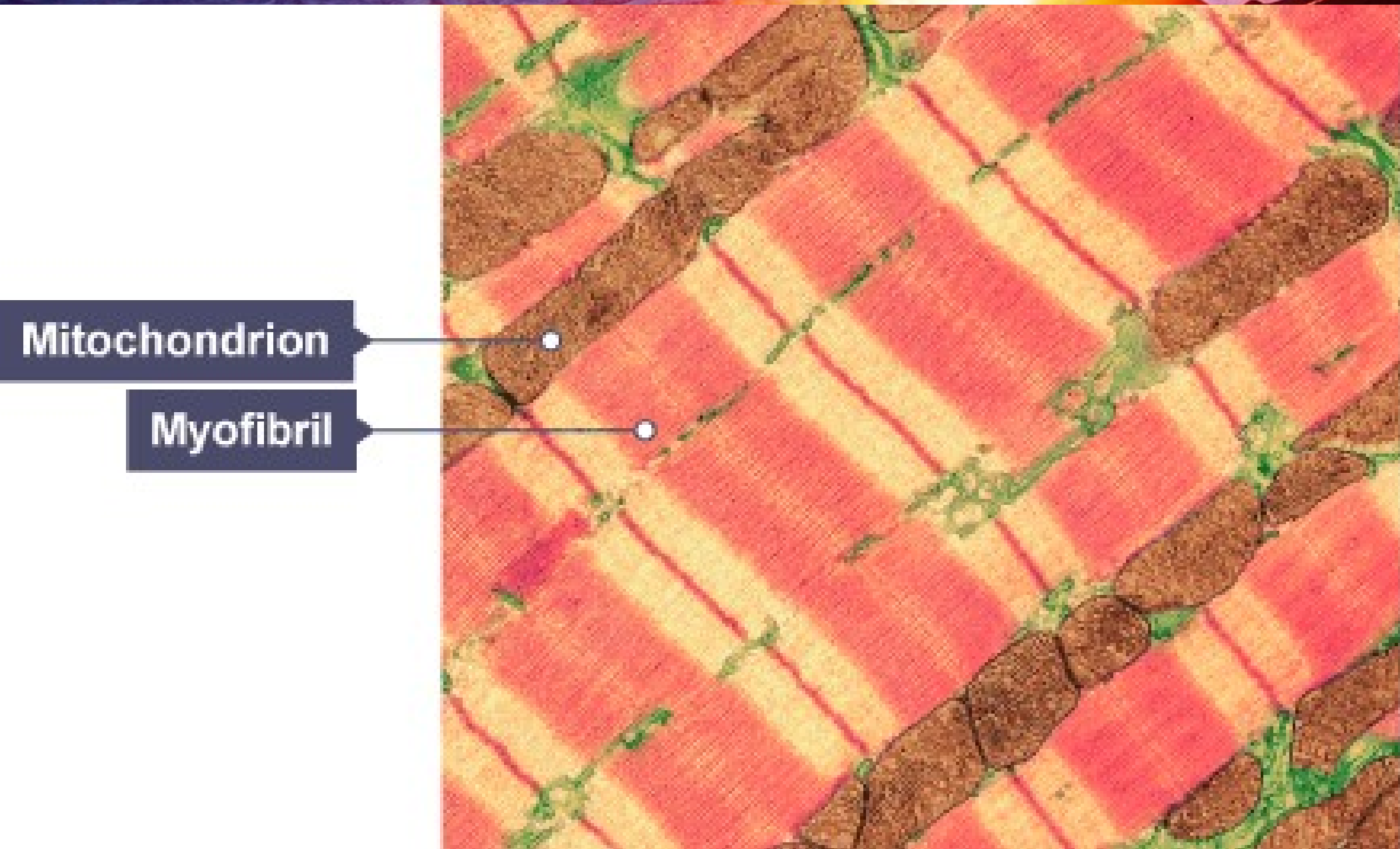


Falta una sutileza

- El ATP es inestable y altamente soluble en agua. Las células mantienen la proporción ATP:ADP $\sim 10^{10}$ **fuera de equilibrio**
- En la ATP-sintasa, había una concentración de protones **fuera de equilibrio**
- La concentración de gases de glicolisis está **fuera de equilibrio**
- ...
- El verdadero problema aquí es que **la vida funciona manteniendo estados fuera de equilibrio...**
- ... y la termodinámica estudia estados en equilibrio:
la temperatura y la entropía del sistema están definidas para estados en equilibrio termodinámico

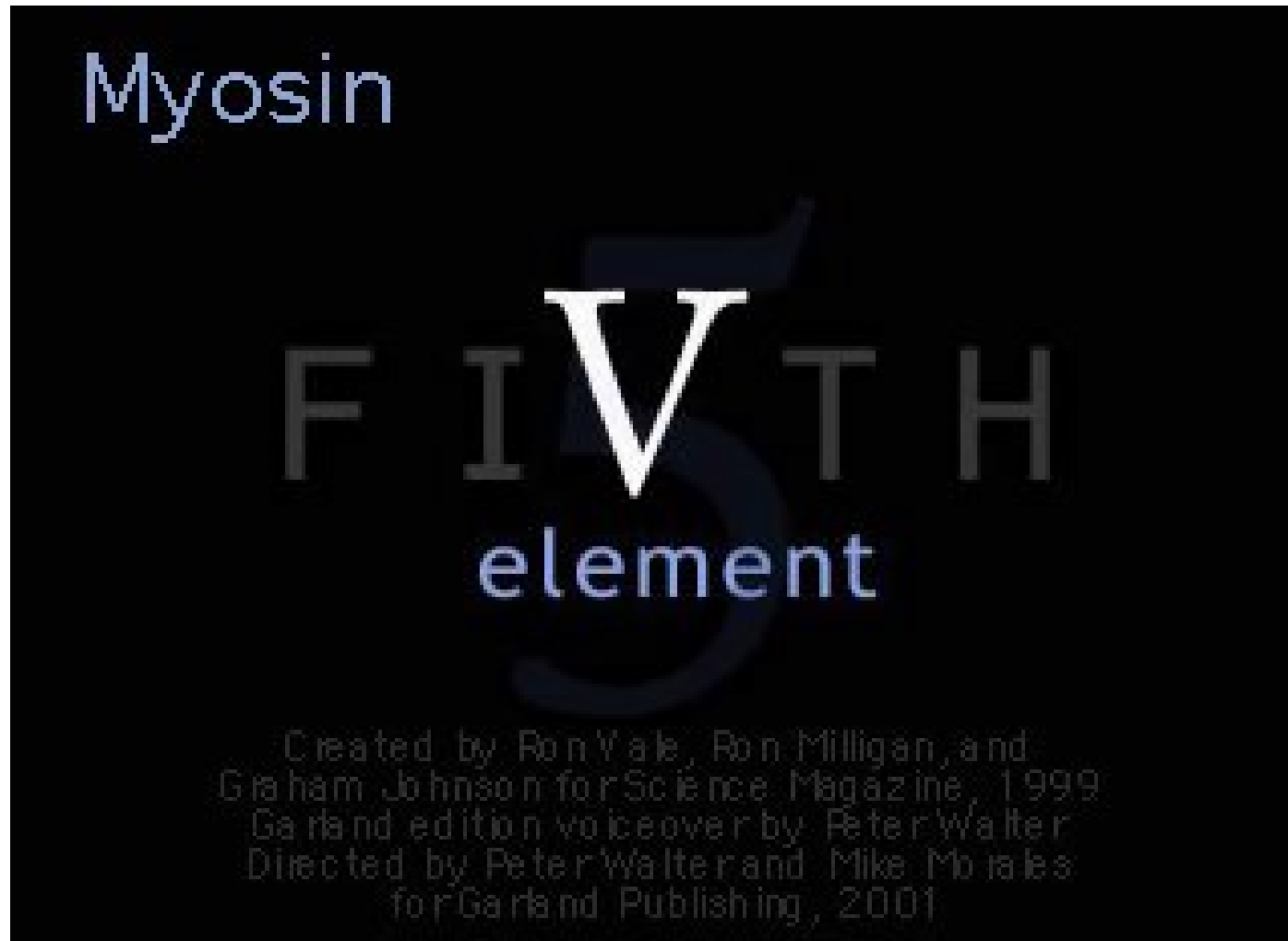
- Los procesos metabólicos producen la oxidación de la glucosa, liberando energía
- La energía liberada es almacenada en forma de ATP
- La energía se transforma de química en química
- **Se libera calor en el proceso**
- **¿Qué pasa al consumir ATP?**

Músculo esquelético



¿y el trabajo? Miosina, contracción muscular

(ver u04c06-miosina-subs-es.mp4)



Energía química → trabajo mecánico, sin calor

- Las células musculares contienen actina y miosina
- El ATP es usado para contraer el músculo, “jaland” fibras de actina mediante conexiones de miosina
- **La energía química almacenada en el ATP es utilizada para contraer el músculo, produciendo trabajo mecánico**
- **Pero en el proceso se libera calor**

**Y el calor es transferido al ambiente
(cuya temperatura puede variar)**



Conducción: 5%
Convección: 15%
Radiación: 60%
Evaporación: 20%

Aplicando los principios

- La energía se conserva → en situación de no engordar ni adelagazar → JCI intercambia 150 J/s al ambiente
- El intercambio irreversible de calor produce entropía
- La termoregulación asegura $T_{\text{sis}} = \text{constante} = 310\text{K}$
- Y por construcción, $T_{\text{amb}} = \text{constante} = 293\text{K}$ (pero clima)
- En un segundo (esto es demasiado aproximado):

$$\Delta S_U = \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{med}}$$

$$\Delta S_U = -Q/T_{\text{sis}} + Q/T_{\text{med}} = 0.03 \text{ J/K} > 0$$

$$\text{si } T_{\text{sis}} > T_{\text{med}}$$

¡Muchas gracias por llegar hasta aquí!

That's all Folks!