

## Problema 2: La evolución de las especies: ¿viola el segundo principio de la Termodinámica? (20 puntos)

- a) El ADN de una bacteria contiene unos  $5 \times 10^6$  pares de bases, cada uno de los cuales puede ser AT, TA, GC o CG.\* De todas las configuraciones posibles sólo unas  $10^{13}$  corresponden a especies vivas. ¿Cuál es la variación de entropía necesaria para que de la mutación de una configuración cualquiera surja una especie viva?
- b) Suponga que la evolución de las especies ocurre tan rápido que en 100 años cada una evoluciona hacia otra 1000 veces más organizada y, por tanto, 1000 veces más improbable. Teniendo en cuenta que sobre la Tierra existen unos  $10^{32}$  organismos vivos, estime la variación de entropía del planeta producida cada segundo por la evolución.
- c) La Tierra absorbe como promedio  $P=1.21 \times 10^{17} \text{ W}$  de energía solar y la reemite casi completamente al espacio exterior, de modo que su temperatura media se mantiene aproximadamente en unos  $288 \text{ K}$ . La temperatura de la superficie del Sol es  $5778 \text{ K}$  y la del espacio exterior es la del fondo de radiación de microondas, unos  $2,7 \text{ K}$ . En el intercambio de energía en el sistema Sol - Tierra - Espacio Exterior ¿cuánto varía la entropía cada segundo?
- d) A la luz de los resultados anteriores, ¿cree Ud. que exista alguna contradicción entre el origen de la vida, la evolución de las especies y el segundo principio de la Termodinámica? Explique.

\* A=Adenina, C=Citosina, G= Guanina, T= Timina

Dato: Utilice para la constante de Boltzmann el valor  $k \approx 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$

### Solución.

- a) (5 puntos) Teniendo en cuenta que  $S=k \ln W$ , donde  $W$  es el número de microestados posibles, entonces:

$$\Delta S = k \ln \frac{W_f}{W_i}$$

En este caso:

$$W_i = 4^{5 \cdot 10^6} = 10^{3 \cdot 10^6}; \quad W_f = 10^{13}$$

$$\Delta S_B = -4,08 \cdot 10^{-17} \cdot \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

- b) (5 puntos) Si en un período  $\Delta t$  de 100 años ( $3,1536 \cdot 10^9 \text{ s}$ ) cada especie da lugar a otra 1000 veces menos probable:

$$\frac{W_f}{W_i} = 10^{-3}$$

$$\left( \frac{dS}{dt} \right)_e = N \frac{\Delta S}{\Delta t} = -3 \cdot 10^{32} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{\ln 10}{3,1536 \cdot 10^9} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{s}}$$

$$\left( \frac{dS}{dt} \right)_e = -3,02 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{s}}$$

- c) (5 puntos) Para el Sol:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_S = \frac{-P}{T_S} = \frac{-1,21 \cdot 10^{17} \text{ W}}{5778 \text{ K}} = -2,09 \cdot 10^{13} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{s}}$$

Para la Tierra, teniendo en cuenta que adsorbe y emite casi lo mismo:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_T \approx 0$$

Hasta aquí (2 puntos)

Para el espacio exterior:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_{EE} = \frac{P}{T_{EE}} = \frac{1,21 \cdot 10^{17} \text{ W}}{2,728 \text{ K}} = 4,44 \cdot 10^{16} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{s}}$$

Por esta expresión (2 puntos)

Obviamente la entropía del universo aumenta en este intercambio:

$$\left(\frac{dS}{dt}\right)_S + \left(\frac{dS}{dt}\right)_T + \left(\frac{dS}{dt}\right)_{EE} \approx 4,44 \cdot 10^{16} \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{s}}$$

Por esta expresión (1 punto)

- d) (5 puntos) De los estimados realizados se aprecia, que aún a los rápidos ritmos de evolución considerados, la disminución de entropía es insignificante en comparación con el aumento debido a la transferencia de energía del Sol a la Tierra y de esta al espacio exterior. El surgimiento de la vida y la evolución de las especies son compatibles con el aumento de la entropía de un sistema aislado que exige el segundo principio de la Termodinámica.