




---

## TAREA 2

---

### 1. Problema 1

Teniendo

$$S = -k_B \sum_{k=1}^k p_i \ln p_i,$$

sujeto a

$$\sum_{k=1}^k p_i = 1, \quad \sum_{k=1}^k p_i E_i = \varepsilon.$$

Para maximizarlo, utilizamos los multiplicadores de Lagrange, definimos la función  $F(p_1, \dots, \lambda_i, \dots)$ , como

$$F(p_1, \dots, \lambda_i, \dots) = S - \lambda_1 \left( \sum_{i=1}^k p_i - 1 \right) - \lambda_2 \left( \sum_{i=1}^k p_i E_i - \varepsilon \right),$$

de modo que

$$F = -k_B \sum_{k=1}^k p_i \ln p_i - \lambda_1 \left( \sum_{i=1}^k p_i - 1 \right) - \lambda_2 \left( \sum_{i=1}^k p_i E_i - \varepsilon \right).$$

Tomando las derivadas parciales respecto a cada una de las probabilidades  $p_i$ , entonces

$$\frac{\partial F}{\partial p_k} = -k_B(\ln p_k + 1) - \lambda_1 - \lambda_2 E_k = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_1} = \sum_{i=1}^k p_i - 1 = 0$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda_2} = \sum_{i=1}^k p_i E_i - \varepsilon = 0.$$

Para poder factorizar el  $k_B$ , tomamos el siguiente cambio de parámetros  $\lambda_1 = k_B \alpha$  y  $\lambda_2 = k_B \beta$ . En donde  $\alpha$  es adimensional y  $[\beta] = 1/J$ . Con esto, llegamos a la relación

$$-k_B(\ln p_i + 1 + \alpha + \beta E_i) = 0 \quad \Rightarrow \quad \ln p_i = -(1 + \alpha) - \beta E_i,$$

dado esto introducimos la función de partición

$$Z = e^{1+\alpha} \quad \Rightarrow \quad p_i = \frac{1}{Z} e^{-\beta E_i},$$

pero sabemos que  $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ , sustituyendo se obtiene la definición de función de partición, con el nuevo parámetro  $T = 1/k_B\beta$  ( $[T] = K$ )

$$\mathfrak{z}(\beta) = \sum_{i=1}^k e^{-\frac{E_i}{k_B T}} \quad (1)$$

## 2. Problema 2

Sabiendo que el valor esperado de la energía es  $\langle E_i \rangle = \varepsilon$ , entonces tomando la función de partición y derivando la respecto a  $\beta$

$$\frac{d\mathfrak{z}}{d\beta} = \sum_{i=1}^k -E_i e^{-\beta E_i},$$

multiplicando y dividiendo entre la función de partición se tiene

$$\frac{1}{\mathfrak{z}} \frac{d\mathfrak{z}}{d\beta} = - \sum_{i=1}^k p_i E_i = -\varepsilon.$$

Por regla de la cadena

$$\frac{d \ln \mathfrak{z}}{d\beta} = \frac{d \ln \mathfrak{z}}{d\mathfrak{z}} \frac{d\mathfrak{z}}{d\beta} = \frac{1}{\mathfrak{z}} \frac{d\mathfrak{z}}{d\beta}.$$

$$\boxed{\frac{1}{\mathfrak{z}} \frac{d\mathfrak{z}}{d\beta} = -\varepsilon}$$

## 3. Problema 3

Tomando la entropía

$$S = -k_B \sum_{i=1}^k p_i \ln p_i,$$

sustituyendo la probabilidad definida como

$$\ln p_i = -\beta E_i - \ln \mathfrak{z}.$$

Sustituyendo en la ecuación de entropía se tiene

$$S = k_B \beta \underbrace{\sum_{i=1}^k p_i E_i}_{\varepsilon} + k_B \ln \mathfrak{z} \underbrace{\sum_{i=1}^k p_i}_1,$$

entonces

$$S = k_B(\beta\varepsilon + \ln \mathfrak{z}) \quad (2)$$

## 4. Problema 4

a) Dado que tenemos 7 sabores y queremos un helado de 4 bolas en el que el orden importa es tenemos una disposición  $n^k = 7^4 = 2401$ .

b) Si no se puede repetir, para el mismo conjunto de datos  $P_n^k = \frac{n!}{(n-k)!} = 840$ .



## 5. Problema 5

- a) Dado que tenemos 7 sabores y queremos un helado de 4 bolas en el que el orden importa es tenemos una distribución  $\binom{n-1+k}{k} = 210$ .
- b) Si no se puede repetir, para el mismo conjunto de datos  $\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} = 35$ .

## 6. Problema 6

La cantidad de microestados esta dada por

$$\Omega = \frac{n!}{n_1! \cdots n_k!}. \quad (3)$$

- a) Para los 7 en  $B2$   $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6) = (0, 7, 0, 0, 0, 0)$ . Entonces, utilizando (3) con  $k = 6$  (número de bares), se tiene que la cantidad de microestados es  $\Omega = 1$ . El cual es un microestado admisible.
- b) Para  $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6) = (2, 2, 1, 1, 1, 0)$ , calculando el número de microestados:  $\Omega = 1260$  microestados, los cuales son admisibles.
- c) Para  $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6) = (2, 1, 3, 0, 0, 1)$ . Calculando el número de microestados:  $\Omega = 420$ , los cuales son admisibles.
- d) Para  $(n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6) = (2, 1, 1, 1, 1, 1)$ . Calculando el número de microestados  $\Omega = 2520$ , los cuales no son admisibles.
- e) Dada la entropía  $S = k_B \ln \Omega$ , la distribución con microestados admisibles que generan la entropía máxima es la c).

