

---

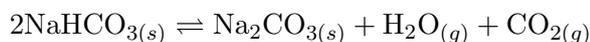
**Problemas de Fundamentos de Química**

 1<sup>er</sup> Curso, Grado de Física,

**Tema 6. Equilibrio químico**


---

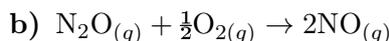
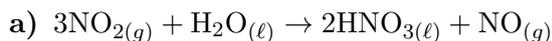
- 6.1. En un recipiente de 1 L se introducen 0.02 moles de dióxido de azufre y 0.01 moles de oxígeno. Cuando se alcanza el equilibrio a 900 K, se encuentran 0.0148 moles de trióxido de azufre. Calcule los moles de oxígeno y de dióxido de azufre en el equilibrio y las constantes de equilibrio  $K_p$  y  $K_c$ .
- 6.2. Para la reacción  $\text{PCl}_{5(g)} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$ ,  $K_c = 0.56$  a 300 °C. En un recipiente de 5.00 L se mezclan 0.45 mol de  $\text{Cl}_2$ , 0.90 mol de  $\text{PCl}_3$  y 0.12 mol de  $\text{PCl}_5$  a 300°C. Calcula las concentraciones de  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{PCl}_3$  y  $\text{PCl}_5$  en el equilibrio.
- 6.3. Una mezcla de 0.688 g de  $\text{H}_2$  y 35.156 g de  $\text{Br}_2$  se calienta a 700°C en un recipiente de 2 L. Estas sustancias reaccionan según:  $\text{Br}_{2(g)} + \text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HBr}_{(g)}$ . Una vez alcanzado el equilibrio el recipiente contiene 0.288 g de  $\text{H}_2$ . ¿Cuántos gramos de HBr se habrán formado? ¿Cuáles son los valores de  $K_c$  y  $K_p$  para la reacción de disociación de HBr en  $\text{Br}_2$  y  $\text{H}_2$  a la temperatura dada?
- 6.4. Para el equilibrio  $\text{H}_{2(g)} + \text{CO}_{2(g)} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}_{(g)} + \text{CO}_{(g)}$ ,  $\Delta H = -5$  kcal/mol y  $K_c = 5$  a 2000 K.
- ¿Cuál será la composición del equilibrio si se introducen simultáneamente 1 mol de  $\text{H}_2$ , 2 moles de  $\text{CO}_2$ , 1 mol de  $\text{H}_2\text{O}$  y 1 mol de  $\text{CO}$  en un recipiente de 5.00 litros a 2000 K?
  - ¿En qué sentido se desplazará el equilibrio si: (i) se aumenta P, (ii) se disminuye T, (iii) se añaden 0.5 mol de  $\text{CO}$ ?
- 6.5. Considera el siguiente equilibrio heterogéneo:  $\text{C}_{(s)} + \text{CO}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{(g)}$ . A 700°C la presión total del sistema es de 4.50 atm. Si la constante de equilibrio  $K_p$  es 1.52, calcula las presiones parciales de  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  en el equilibrio.
- 6.6. Al calentar bicarbonato de sodio en un recipiente cerrado se establece el siguiente equilibrio:



Indica cómo se modificaría la posición de equilibrio si: a) se retira algo de  $\text{CO}_2$  del sistema; b) se añade algo de  $\text{Na}_2\text{CO}_{3(s)}$  al sistema; c) se retira algo de  $\text{NaHCO}_{3(s)}$  del sistema; d) se reduce el volumen del recipiente.

- 6.7. Considera la reacción en fase gaseosa:  $2\text{CO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{2(g)}$ . Pronostica el desplazamiento en la posición de equilibrio cuando se agrega gas helio a la mezcla de equilibrio: a) a presión constante; b) a volumen constante.
- 6.8. ¿Cuál sería el efecto de aumentar el volumen en cada uno de los siguientes sistemas en el equilibrio?
- $2\text{CO}_{(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{CO}_{2(g)}$
  - $2\text{NO}_{(g)} \rightleftharpoons \text{N}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)}$
  - $\text{N}_2\text{O}_{4(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g)$
  - $\text{Ni}_{(s)} + 4\text{CO}_{(g)} \rightleftharpoons \text{Ni}(\text{CO})_{4(g)}$
  - $\text{N}_{2(g)} + 3\text{H}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NH}_{3(g)}$
- 6.9. ¿Cuál sería el efecto de disminuir la temperatura en cada uno de los siguientes sistemas en equilibrio?
- $\text{H}_{2(g)} + \text{I}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{HI}_{(g)}$ ;  $\Delta H^\circ = -9.45$  kJ mol<sup>-1</sup>
  - $\text{PCl}_{5(g)} \rightleftharpoons \text{PCl}_{3(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$ ;  $\Delta H^\circ = 92.5$  kJ mol<sup>-1</sup>
  - $2\text{SO}_{2(g)} + \text{O}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$ ;  $\Delta H^\circ = -198$  kJ mol<sup>-1</sup>
  - $2\text{NOCl}_{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)}$ ;  $\Delta H^\circ = 75$  kJ mol<sup>-1</sup>
  - $\text{C}_{(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_{(g)} + \text{H}_2(g)$ ;  $\Delta H^\circ = 131$  kJ mol<sup>-1</sup>

6.10. Calcula  $K_p$  de las siguientes reacciones a 298 K e indica cuáles serán espontáneas en condiciones estándar:



Datos:  $\Delta_f G^\circ(\text{NO}_2, g) = 51.44 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{H}_2\text{O}, l) = -237.18 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{HNO}_3, l) = -80.17 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{NO}, g) = 86.64 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{N}_2\text{O}, g) = 103.80 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{O}_2, g) = 0$ .

6.11. La constante de equilibrio para la autoionización del agua a 25°C,  $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+_{(ac)} + \text{OH}^-_{(ac)}$  es  $K_w = 1.0 \cdot 10^{-14}$ . ¿Cuánto vale  $\Delta G^\circ$  para este proceso?

6.12. Considera la reacción:  $2\text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(g)$ :

a) Calcula  $\Delta G^\circ$  a 298 K.

b) Indica razonadamente qué reacciones suceden de forma espontánea a 25°C si en sendos recipientes cerrados se introducen: (i) 1 mol de  $\text{NO}_2$ , (ii) 1 mol de  $\text{N}_2\text{O}_4$ .

Datos:  $\Delta_f G^\circ(\text{NO}_2, g) = 51.44 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{N}_2\text{O}_4, g) = 97.89 \text{ kJ mol}^{-1}$

6.13. Para el equilibrio:  $\text{PCl}_5(g) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(g) + \text{Cl}_2(g)$ , calcula:

a)  $\Delta G^\circ$  y  $K_p$  para el equilibrio a 25°C.

b)  $\Delta G$  si las presiones parciales de la mezcla inicial son:  $P(\text{PCl}_5) = 0.0029 \text{ atm}$ ,  $P(\text{PCl}_3) = 0.27 \text{ atm}$  y  $P(\text{Cl}_2) = 0.40 \text{ atm}$ . ¿Qué reacción se produce de forma espontánea?

Datos:  $\Delta_f G^\circ(\text{PCl}_5, g) = -305.0 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{PCl}_3, g) = -267.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f G^\circ(\text{Cl}_2, g) = 0$ .

6.14. La constante de equilibrio  $K_p$  para la reacción:  $\text{H}_2(g) + \text{CO}_2(g) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O}(g) + \text{CO}(g)$  es 4.40 a 2000 K.

a) Calcula  $\Delta G^\circ$  a 2000 K. b) Calcula  $\Delta G$  de la reacción cuando las presiones parciales son:  $p(\text{H}_2) = 0.25 \text{ atm}$ ,  $p(\text{CO}_2) = 0.78 \text{ atm}$ ,  $p(\text{H}_2\text{O}) = 0.66 \text{ atm}$  y  $p(\text{CO}) = 1.20 \text{ atm}$ . ¿Qué reacción se produce de forma espontánea?

6.15. A 25°C,  $\Delta G^\circ$  para la vaporización del agua es  $8.6 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Calcula la presión de vapor del agua a esa temperatura.

6.16. Para la reacción  $\text{N}_2\text{O}_4(g) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(g)$ , se determinó a partir de medidas de la composición del equilibrio una constante  $K_p = 0.144$  a 25°C, mientras que  $K_p = 0.321$  a 35°C. Calcula  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  y  $\Delta G^\circ$  a 25°C para esta reacción, sin utilizar tablas de datos termodinámicos.

6.17. Estima la temperatura a la que  $K_p = 1.0 \cdot 10^6$  para el equilibrio:  $2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(g)$ .

Datos:  $\Delta_f H^\circ(\text{SO}_3, g) = -395.7 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $\Delta_f H^\circ(\text{SO}_2, g) = -296.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $S^\circ(\text{SO}_3, g) = 256.8 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $S^\circ(\text{SO}_2, g) = 248.2 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $S^\circ(\text{O}_2, g) = 205.1 \text{ kJ mol}^{-1}$ .

6.18. En un recipiente de  $V = 10 \text{ L}$  se ponen 0.36 g de agua a 25°C. Sabiendo que la presión de vapor del agua a 25°C es de 23.56 torr, determinar: a) las fases presentes, la masa de agua en cada una y la presión en el interior. b) Lo mismo pero suponiendo  $V = 20 \text{ L}$ .

### Soluciones:

6.1. 0.0052 moles de  $\text{SO}_2$ , 0.0026 moles de  $\text{O}_2$ ,  $K_p = 41.6$ ,  $K_c = 3.1 \cdot 10^3$ .

6.2.  $[\text{PCl}_5] = 0.027 \text{ M}$ ,  $[\text{PCl}_3] = 0.177 \text{ M}$ ,  $[\text{Cl}_2] = 0.087 \text{ M}$ .

6.3. 32.4 g de  $\text{HBr}$ ,  $K_c = K_p = 0.018$ .

6.4. a) 0.38 moles de  $\text{H}_2$ , 1.38 moles de  $\text{CO}_2$ , 1.62 moles de  $\text{H}_2\text{O}$ , 1.62 moles de  $\text{CO}$ ; b) (i) no se altera, (ii)  $\rightarrow$ , (iii)  $\leftarrow$ .

6.5.  $P(\text{CO}_2) = 2.54 \text{ atm}$ ,  $P(\text{CO}) = 1.96 \text{ atm}$ .

6.6. a)  $\rightarrow$ , b) igual, c) igual, d)  $\leftarrow$ .

6.7. a)  $\leftarrow$ , b) igual.

6.8. a, d, e)  $\leftarrow$ , b) igual, c)  $\rightarrow$ .

6.9. a, c)  $\rightarrow$ ; b, d, e)  $\leftarrow$ .

6.10. a)  $K_p = 2.48 \cdot 10^{-2}$ ; b)  $K_p = 6.53 \cdot 10^{-13}$ .

6.11.  $79.9 \text{ kJ mol}^{-1}$  .

6.12. a)  $\Delta G^\circ = -4.99 \text{ kJ mol}^{-1}$  ; b) (i) la reacción directa, (ii) la reacción inversa.

6.13. a)  $\Delta G = 37.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  ,  $K_p = 3.0 \cdot 10^{-7}$  ; b)  $\Delta G = 46.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  , se forma  $\text{PCl}_5$ .

6.14. a)  $-24.6 \text{ kJ mol}^{-1}$  , b)  $-1.3 \text{ kJ mol}^{-1}$  ; se produce la reacción directa.

6.15. 23 torr.

6.16.  $\Delta H^\circ = 61.2 \text{ kJ mol}^{-1}$  ,  $\Delta S^\circ = 189 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$  ,  $\Delta G^\circ = 4.8 \text{ kJ mol}^{-1}$  .

6.17. 653 K.

6.18. a) vapor (0.228 g) y líquido (0.132 g),  $P=23.56 \text{ torr}$ . b) vapor,  $P=18.24 \text{ torr}$ .