



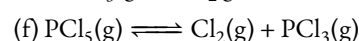
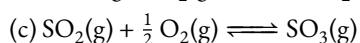
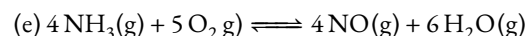
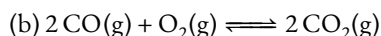
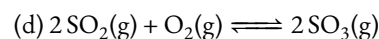
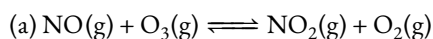
# EQUILIBRIO QUÍMICO | QUÍMICA 2.º BACH

## EJERCICIOS

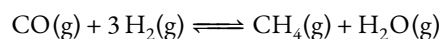
ALBA LÓPEZ VALENZUELA

### ..... Constantes de equilibrio .....

1. Escribe las expresiones de la constante de equilibrio en función de las concentraciones y de las presiones parciales para las siguientes reacciones reversibles:



2. En un recipiente cerrado de 10 L a 1200 K y en el que se ha hecho el vacío, se introducen 1.00 mol de CO y 3.00 mol de  $\text{H}_2$ , una vez alcanzado el equilibrio se encuentra que se han formado 0.387 mol de  $\text{H}_2\text{O}$ . Calcula el valor de la constante de equilibrio a esa temperatura si la reacción es:



*Solución:*  $K_C = 3.93$

3. La constante del proceso  $\text{N}_2\text{O}_4\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO}_2\text{(g)}$ , a cierta temperatura es  $4.48 \times 10^{-3}$ . En un recipiente de un litro se introducen 0.50 moles de  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Calcula la composición final de la mezcla expresada en mol.

*Solución:* 0.046 mol  $\text{NO}_2$ ; 0.477 mol  $\text{N}_2\text{O}_4$

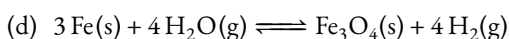
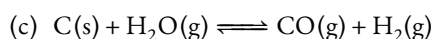
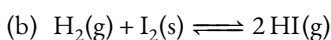
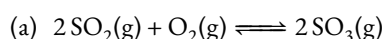
4. En un recipiente de 5 L se introducen 1 mol de dióxido de azufre y 1 mol de oxígeno y se calienta a 1000 °C, dándose la reacción:  $2\text{SO}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{SO}_3\text{(g)}$ . ¿Cuánto trióxido de azufre se forma si en el equilibrio hay 0.15 moles de dióxido de azufre? Calcula  $K_C$ .

*Solución:* 0.85 mol  $\text{SO}_3$ ;  $K_C = 279$

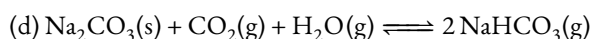
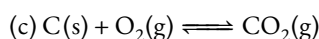
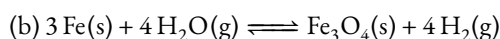
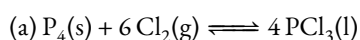
5. En un recipiente de 10 L de volumen se introducen 2 moles del compuesto A y 1 mol del compuesto B. Se calienta a 300 °C y se establece el equilibrio:  $\text{A(g)} + 3\text{B(g)} \rightleftharpoons 2\text{C(g)}$ . Cuando se alcanza el equilibrio, el número de moles de B es igual al de C. Calcula los moles de cada componente en el equilibrio,  $K_C$ ,  $K_P$  y la presión parcial de B en el equilibrio.

*Solución:* 1.8 mol de A y 0.4 mol de B y C;  $K_C = 138.9$ ;  $K_P = 0.063$ ;  $p_B = 1.88$  atm

6. ¿Para cuál de las siguientes reacciones  $K_P = K_C$ ?



7. Escribe las expresiones de las constantes de equilibrio  $K_C$  y  $K_P$  para los siguientes equilibrios:



8. El equilibrio  $\text{SbCl}_5\text{(g)} \rightleftharpoons \text{SbCl}_3\text{(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)}$  se establece calentando 29.9 g de  $\text{SbCl}_5$  a 182 °C en un recipiente de 3 L. Calcular:

- (a) Las concentraciones de cada especie en el equilibrio, sabiendo que la presión total es de 1.54 atm.

- (b)  $K_C$ ,  $K_P$  y  $K_X$ .

*Solución:* a)  $[\text{SbCl}_3] = [\text{Cl}_2] = 7.93 \times 10^{-3}$  M,  $[\text{SbCl}_5] = 0.0254$  M; b)  $K_C = 2.47 \times 10^{-3}$ ;  $K_P = 0.09$ ;  $K_X = 0.06$

9. [EBAU, Extremadura 2018] La constante de equilibrio  $K_C$  para la reacción  $\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{(g)}$  vale 5.1 a 800 K. Si 1 mol de CO y 1 mol de  $\text{H}_2\text{O}$  se calientan a 800 K en un recipiente vacío de 50 L, cuando se alcanza el equilibrio, calcular:

a) cuántos moles de CO quedan sin reaccionar y b) la presión parcial de cada gas, la presión total en el recipiente y la constante  $K_p$ .

$$R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

*Solución:* a) 0.31 mol; b)  $p_{\text{CO}} = p_{\text{H}_2\text{O}} = 0.41 \text{ atm}$ ,  $p_{\text{CO}_2} = p_{\text{H}_2} = 0.91 \text{ atm}$ ,  $p_{\text{TOT}} = 2.64 \text{ atm}$ ,  $K_p = 4.93$

10. [Grado en Biotecnología, UNEX] Para el proceso Haber (la producción de amoníaco a partir de nitrógeno y de hidrógeno), la constante de equilibrio a temperatura ambiente es de  $4 \times 10^8$ . Si las concentraciones en el equilibrio de las tres especies son iguales, ¿cuál es el valor de esa concentración?

*Solución:* Depende del ajuste: si  $3 \text{ H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2 \text{ NH}_3$  [ $]$  =  $5 \times 10^{-5} \text{ M}$ ; si  $\frac{3}{2} \text{ H}_2 + \frac{1}{2} \text{ N}_2 \rightleftharpoons \text{NH}_3$  [ $]$  =  $2.8 \times 10^{-9} \text{ M}$

11. [Grado en Química, UNEX] En la reacción  $\text{XY}_2 \rightleftharpoons \text{X} + 2 \text{ Y}$  las tres sustancias son gases ideales. Un recipiente de 10.0 L contiene, inicialmente, 0.40 mol de  $\text{XY}_2$ . Se introduce entonces un catalizador de la reacción de disociación. Cuando se alcanza el equilibrio, la presión de la mezcla es 1.20 atm. La temperatura es 300 K. Calcular la constante de equilibrio  $K_p$  de la reacción dada.

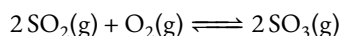
*Solución:*  $5.79 \times 10^{-3} \text{ atm}^2$

12. [Grado en Química, UNEX] En un recipiente de  $1055 \text{ cm}^3$  se hizo el vacío y, a continuación, se introdujeron 0.31 g de NO y 0.7 g de  $\text{Br}_2$ . En estas condiciones se estableció el equilibrio:  $2 \text{ NO(g)} + \text{Br}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{ NOBr(g)}$  a la temperatura de 323.7 K y se midió una presión final de 0.304 atm. Suponiendo comportamiento ideal para los gases, calcular la composición de la mezcla en equilibrio y el valor de  $K_p$ .

*Solución:* 0.421; 0.147 y 0.432;  $23.56 \text{ atm}^{-1}$

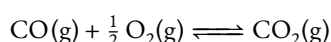
13. [Escuela de Ingenierías Agrarias, UNEX] A cierta temperatura, y en un recipiente de 1 litro, se encuentran en equilibrio 8 g de oxígeno, 8 g de dióxido de azufre y 40 g de trióxido de azufre.

a) Calcular el valor de la constante de equilibrio  $K_C$  correspondiente a la reacción:



*Solución:*  $K_C = 64 \text{ M}^{-1}$

14. [Grado en Química, UNEX] El monóxido de carbono es extremadamente venenoso puesto que forma un fortísimo complejo con la hemoglobina. Las presiones parciales de dióxido de carbono y oxígeno en la atmósfera son, respectivamente,  $3.4 \times 10^{-3}$  y 0.2 atm. Hallar la presión del monóxido de carbono en equilibrio con dióxido de carbono y oxígeno en la atmósfera, a 25 °C, según la reacción:



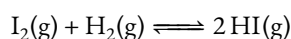
¿Debemos preocuparnos con ese resultado? ¿Es espontáneo el proceso?

*Solución:*  $2.06 \times 10^{-45} \text{ Pa}$

15. [Grado en Biotecnología, UNEX] A cierta temperatura, la constante de equilibrio,  $K_p$ , es igual a 3.40 para la reacción de isomerización  $\text{cis-but-2-eno} \rightleftharpoons \text{trans-but-2-eno}$ . Si un matraz contiene inicialmente 0.250 atm de *cis*-but-2-eno y 0.125 atm de *trans*-but-2-eno, ¿cuál es la presión de equilibrio de cada gas?

*Solución:*  $P_{\text{cis}} = 0.0852 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{trans}} = 0.2898 \text{ atm}$

16. [Grado en Nutrición y Dietética] Calcula la concentración de  $\text{H}_2$  en un matraz de 2.00 L en el que inicialmente hay HI a una presión de 1.00 bar y una temperatura de 107.8 K.



La constante de equilibrio  $K_C$  a esa temperatura es  $10^{-4}$ .

Dato:  $R = 0.0831 \text{ bar L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

*Solución:*  $[\text{H}_2] = 0.056 \text{ M}$

..... Grado de disociación .....

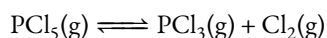
17. [EBAU, Extremadura 2017] En un recipiente de 750 mL se introducen 0.1 mol de  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$  y, cuando la temperatura es de  $50^\circ\text{C}$ , se establece el equilibrio:  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$  siendo la presión total de 4.2 atm. Calcular:  
a)  $K_C$  y  $K_p$ ; b) El grado de disociación, en %, del  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ .
18. [EBAU, Extremadura 2020] En un recipiente de 2 litros se introducen 2 moles de  $\text{AB}_2$  y cuando la temperatura alcanza los 346 K se establece el equilibrio:  $\text{AB}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{A}(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g})$ , siendo  $K_p = 2.56$ . Calcular:  
a)  $K_C$  y el número de moles de cada especie en el equilibrio;  
b) grado de disociación ( $\alpha$ ) de  $\text{AB}_2$ , expresado en %.
19. [EBAU, Extremadura 2018] En un matraz vacío de 1 L de capacidad se colocan 6 g de  $\text{PCl}_5$  gaseoso. Se calienta a  $250^\circ\text{C}$ , con lo que el  $\text{PCl}_5$  se disocia parcialmente en  $\text{Cl}_2$  y  $\text{PCl}_3$ , ambos gaseosos:  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{PCl}_3(\text{g})$ . La presión de equilibrio es 2.078 atm. Calcular:  
a) El grado de disociación de  $\text{PCl}_5$ ; b) la constante de equilibrio  $K_p$  a  $250^\circ\text{C}$ .  
*Masas atómicas (u):* P=31; Cl=35.5;  $R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
20. Se ha estudiado la reacción del equilibrio:  $2\text{NOCl}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  a 735 K y en un volumen de 1 litro. Inicialmente se introdujeron 2 moles de  $\text{NOCl}$ . Una vez establecido el equilibrio se comprobó que se había disociado en un 33 % del compuesto. Calcula  $K_C$ .

*Solución:*  $K_C = 0.08$

21. [Escuela de Ingenierías Agrarias, UNEX] Se introducen 0.2 moles de  $\text{Br}_2(\text{g})$  en un recipiente de 0.5 L a  $600^\circ\text{C}$ , siendo el grado de disociación para la reacción  $\text{Br}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Br}(\text{g})$ , en esas condiciones, del 0.8 %. Calcular  $K_C$  y  $K_p$ .  
*Solución:*  $K_C = 1.03 \times 10^{-4} \text{ M}$ ;  $K_p = 73.88 \times 10^{-4} \text{ atm}$
22. [Escuela de Ingenierías Agrarias, UNEX] La densidad del  $\text{N}_2\text{O}_4$  es de 2.08 g/L a  $60^\circ\text{C}$  y 1 atm. Calcular el grado de disociación y el valor de la constante de equilibrio correspondiente a la disociación  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$  en dichas condiciones de presión y temperatura.  
*Solución:*  $\alpha = 0.62$ ;  $K_p = 2.5 \text{ atm}$
23. El pentacloruro de fósforo está disociado según la ecuación  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  a  $250^\circ\text{C}$  y 1 atm de presión. La densidad del  $\text{PCl}_5$  sin disociar es de 2.695 g/L. Calcula el grado de disociación del  $\text{PCl}_5$  y la  $K_p$  a esa temperatura.  
*Solución:*  $\alpha = 0.807$ ;  $K_p = 1.77 \text{ atm}$
24. Calcula el grado de disociación, a  $30^\circ\text{C}$  y 5 atm, para la disociación del tetraóxido de dinitrógeno, si se sabe que en esas condiciones  $K_p$  es 0.15 atm.

*Solución:*  $\alpha = 0.083$

25. [EBAU, Extremadura 2019] A  $200^\circ\text{C}$  y presión de 1 atm, el  $\text{PCl}_5$  se disocia en un 48.5 % según la reacción:



- a) Determinar el valor de  $K_p$  a esa temperatura.  
b) Calcular el grado de disociación a la misma temperatura, pero bajo una presión de 10 atm. ¿Es coherente este resultado con el principio de Le Châtelier?

*Solución:* a)  $K_p = 0.457$ ; b)  $\alpha = 0.192 = 19.2 \%$ . Sí.

26. A  $200^\circ\text{C}$  y presión de 1 atm, el  $\text{PCl}_5$  se encuentra disociado en un 48.5 %. Calcula el grado de disociación a la misma temperatura pero a una presión de 10 atm.

*Solución:* a)  $K_p = 0.31$ ; b)  $\alpha = 0.174 = 17.4 \%$ .

27. A  $27^\circ\text{C}$  y 1 atm de presión el  $\text{N}_2\text{O}_4$  está disociado en un 20 % en  $\text{NO}_2$ . Calcula: a)  $K_p$ ; b) El % de disociación a  $27^\circ\text{C}$  y una presión de 0.1 atm.

*Solución:* a)  $K_p = 0.17$ ; b)  $\alpha = 0.538 = 53.8 \%$ .

28. A  $27^\circ\text{C}$  y 1 atm de presión el  $\text{N}_2\text{O}_4$  se disocia en un 20 % en  $\text{NO}_2$ . Calcula: a)  $K_p$ ; b) El % de disociación a  $27^\circ\text{C}$  y una presión de 0.1 atm.

*Solución:* a)  $K_p = 0.2$ ; b)  $\alpha = 0.5 = 50 \%$ .

29. La constante de equilibrio para la reacción de disociación del tetraóxido de dinitrógeno vale  $5.8 \times 10^{-3}$  a  $25^\circ\text{C}$ . Calcula el grado de disociación cuando la concentración inicial es: a)  $0.01\text{ M}$ ; b) añadimos  $0.01\text{ M}$  de  $\text{N}_2\text{O}_4$  al equilibrio formado en el apartado anterior.

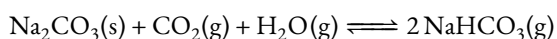
*Solución:* a) 0.315; b) 0.091

30. ♣ A  $1573\text{ K}$ , el 63 % de una mezcla equimolecular de dióxido de carbono y de hidrógeno se convierte en  $\text{CO}$  y agua según:  $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ . Calcula  $K_p$  e indica si es espontánea o no.

*Solución:*  $K_p = 2.89$ ;  $\Delta G = -13.8\text{ kJ/mol}$

..... **Factores que afectan al equilibrio** .....

31. En cuanto al problema 21, ¿hacia dónde se ha desplazado el equilibrio? ¿Por qué?
32. A  $200^\circ\text{C}$  la constante de equilibrio de la reacción  $\text{MX}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{MX}_3(\text{g}) + \text{X}_2(\text{g})$  vale 0.022. En un momento determinado se introducen simultáneamente las siguientes concentraciones:  $[\text{MX}_5] = 0.04\text{ M}$ ,  $[\text{MX}_3] = 0.40\text{ M}$  y  $[\text{X}_2] = 0.20\text{ M}$ .
- (a) Razone si el sistema se encuentra en equilibrio, en contrario, ¿cómo evolucionaría para alcanzar el equilibrio?
- (b) Indique si un cambio de presión del sistema en equilibrio afectará al mismo.
- (c) Indique cómo afectará al sistema en equilibrio la adición de un catalizador.
33. En un matraz de reacción de  $2\text{ L}$  se introducen  $2.5$  moles de  $\text{NaHCO}_3$ ,  $0.15$  moles de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $2.5 \times 10^{-2}$  moles de  $\text{CO}_2$  y  $4.0 \times 10^{-4}$  moles de agua. Todos ellos en el estado de agregación que se indica en la siguiente reacción ajustada:



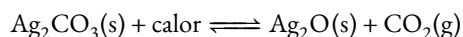
¿Se encuentra el sistema en equilibrio? En caso negativo, razonar hacia donde se desplazará el equilibrio. Dato:  $K_c = 4000$ .

34. Un volumen de  $1\text{ L}$  de una mezcla en equilibrio de amoníaco, nitrógeno e hidrógeno a  $750\text{ K}$  se compone de  $1\text{ mol}$  de  $\text{N}_2$ ,  $1.2$  moles de  $\text{H}_2$  y  $0.329$  moles de  $\text{NH}_3$ . Considerando el equilibrio:  $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ , calcula:
- (a)  $K_c$ .
- (b) Las presiones parciales de los gases en el equilibrio.
- (c) Si la variación de entalpía es  $-92.4\text{ kJ/mol}$ , ¿en qué sentido se desplazará el equilibrio si se aumenta la temperatura hasta  $1300\text{ K}$ ?

*Solución:* a)  $K_c = 0.063$ ; b)  $p_{\text{H}_2} = 61.5\text{ atm}$ ,  $p_{\text{N}_2} = 73.8\text{ atm}$ ,  $p_{\text{NH}_3} = 20.2\text{ atm}$ ; c) izquierda

35. Considere el siguiente sistema en equilibrio  $\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$   $\Delta H > 0$ . Justifique la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:
- (a) Al aumentar la concentración de oxígeno, el equilibrio no se desplaza porque no puede variar la constante de equilibrio.
- (b) Al aumentar la presión total el equilibrio se desplaza hacia la izquierda.
- (c) Al aumentar la temperatura el equilibrio no se modifica.
36. Dada la siguiente reacción  $\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CH}_4(\text{g})$   $\Delta H < 0$ , indica razonadamente la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:
- (a) La reacción es exotérmica.
- (b) Al aumentar la temperatura el equilibrio se desplazará a la derecha.
- (c) Al disminuir la temperatura el equilibrio no se desplaza.
- (d) Si disminuimos la presión el equilibrio se desplaza hacia la derecha.
- (e) Si una vez alcanzado el equilibrio, añadimos más cantidad de carbono, el equilibrio no se modifica.
- (f) Si una vez en equilibrio añadimos hidrógeno, el equilibrio se desplaza a la izquierda.

37. [Escuela de Ingenierías Agrarias, UNEX] El carbonato de plata tiene tendencia a descomponerse. Si se mantiene en un recinto cerrado, acaba por alcanzar un estado de equilibrio, que viene dado por:



La constante de equilibrio  $K_p$  vale 0.0095 a 110 °C. a) Suponiendo que se introduce en un recipiente de 100 mL una muestra de 0.5 g de  $\text{Ag}_2\text{CO}_3$  y se calienta a 110 °C, ¿qué valor tendrá la presión del  $\text{CO}_2$  cuando se alcance el equilibrio? b) ¿Qué sucederá si una vez alcanzado el equilibrio se eleva la temperatura a 115 °C?

*Solución:* a)  $p(\text{CO}_2) = 0.0095 \text{ atm}$

38. ♣ A cierta temperatura el  $\text{PCl}_5$  se disocia en  $\text{PCl}_3$  y  $\text{Cl}_2$ . Cuando se alcanza el equilibrio de esa reacción, llevada a cabo en un recipiente de 10 L, se comprueba que las concentraciones son 0.8 M de  $\text{PCl}_5$ , 0.2 M de  $\text{PCl}_3$  y 0.2 M de  $\text{Cl}_2$ . Calcula  $K_c$  en esas condiciones e interpreta cómo se desplazará el equilibrio y cuáles serán las nuevas concentraciones si, una vez logrado el equilibrio:

- (a) Se agregan 2 moles de  $\text{PCl}_5$ .
- (b) Se reduce el volumen a 5 L.
- (c) Se añaden 2 moles de  $\text{Cl}_2$ .

39. [EBAU, Extremadura 2020] En un recipiente de 500 mL se ponen 0.6 moles del compuesto A(g) y cuando la temperatura es de 600 K, se alcanza el equilibrio:  $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{B}(\text{g}) + \text{C}(\text{g})$ , siendo el grado de disociación de A(g) del 65 %.

- a) Hallar los valores de  $K_c$  y  $K_p$ .
- b) Calcular la presión total que se alcanza en el equilibrio.
- c) Si aumenta el volumen, justificar hacia donde se desplaza el equilibrio.

$$R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

40. [EBAU, Extremadura 2018] a) Dada la reacción  $\text{A}(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{B}(\text{g})$ , cuya  $K_c$  vale 0.3, a 300 K. Indicar, razonando la respuesta, en qué sentido se desplazará la reacción si en un reactor de 2 L hay 2.5 mol de A y 3 mol de B en un momento dado, a 300 K.

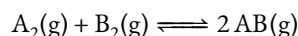
b) Para la reacción anterior, una vez alcanzado el equilibrio, al aumentar la temperatura se observa que aumenta la concentración de B. Razonar si la reacción es exotérmica o endotérmica.

41. [EBAU, Extremadura 2019] En un recipiente de 200 mL se colocan 0.40 g de tetraóxido de dinitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}_4$ ). Se cierra el recipiente y se calienta a 45 °C, produciéndose la disociación del  $\text{N}_2\text{O}_4$  en un 41.6 %.

- a) Calcular las constantes  $K_c$  y  $K_p$  para el equilibrio:  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ .
- b) Justificar cómo cambiarán las concentraciones relativas de ambos compuestos si, a 45 °C, se aumenta la presión en el interior del recipiente.
- c) Justificar cómo tiene que variar la temperatura para que aumente la concentración  $\text{N}_2\text{O}_4$ , teniendo en cuenta que la reacción es endotérmica.

$$R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}; \text{Masas atómicas (u): } N = 14; O = 16.$$

42. [EBAU, Extremadura 2017] Una mezcla gaseosa compuesta por 7 mol de  $\text{A}_2$  y 5 mol de  $\text{B}_2$  se introduce en un reactor de 40 L de volumen. El reactor se calienta a 350 °C. Una vez alcanzado el equilibrio, se han formado 9 mol de producto gaseoso AB:



- a) Calcular el valor de las constantes de equilibrio  $K_c$  y  $K_p$ .
- b) Si para la reacción anterior  $\Delta H = -15.7 \text{ kJ mol}^{-1}$ , razonar cómo se desplazará el equilibrio ante el aumento de la presión y la temperatura (considerar cada efecto por separado).

$$R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}; \text{Masas atómicas (u): } N = 14; O = 16.$$

43. [PAU, Extremadura 2011] Para el siguiente equilibrio:  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \quad \Delta H > 0$ .  
Indique, razonadamente, el sentido en el que se desplazará el equilibrio si:
- a) Se agregara cloro gaseoso a la mezcla en equilibrio.                      c) Se aumentara la presión del sistema.  
b) Se aumentara la temperatura.    d) Se disminuyera el volumen.
44. [PAU, Extremadura 2012] a) Indique, justificando la respuesta, qué condiciones tiene que cumplir un sistema en equilibrio para que sus valores de  $K_c$  y  $K_p$  sean iguales.  
b) Indique en qué sentido (formación de productos o de reaccionantes) evolucionará una reacción química cuando su cociente de reacción vale 3, sabiendo que su constante de equilibrio,  $K_c$  es igual a 4. Justifique la respuesta.
45. [PAU, Extremadura 2014] Para un determinado equilibrio químico, en fase gaseosa, se sabe que un aumento de la temperatura produce el desplazamiento de la reacción hacia la izquierda, mientras que un aumento de la presión provoca el desplazamiento de la reacción hacia la derecha. Indicar, razonadamente, de cuál de estos tres equilibrios se trata:  
a)  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$ , exotérmica;    b)  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C}$ , endotérmica;    c)  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$ , exotérmica.
46. [EBAU, Extremadura 2021] El equilibrio  $\text{PCl}_5(\text{g}) \rightleftharpoons \text{PCl}_3(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g})$  se alcanza cuando la temperatura es de  $200^\circ\text{C}$ , siendo la presión total 2 atm y el grado de disociación del 30 %.
- (a) Determinar las presiones parciales de cada sustancia en el equilibrio.  
(b) Calcular  $K_c$  y  $K_p$ .  
(c) Si la temperatura permanece constante, ¿cómo evoluciona el equilibrio si disminuye el volumen?
- Datos:  $R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
47. [EBAU, Extremadura 2021] En un recipiente de 6 litros se produce la reacción  $\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ . Cuando a  $400^\circ\text{C}$  se alcanza el equilibrio hay 0.02 moles de A, 0.02 moles de B y 0.15 moles de C.
- (a) Hallar las constantes de equilibrio  $K_c$  y  $K_p$ .  
(b) Calcular la presión parcial de cada componente en el equilibrio.  
(c) ¿Cómo evoluciona el equilibrio al disminuir la presión total, si se mantiene constante la temperatura? Razonar la respuesta.  
(d) ¿Cómo evoluciona el sistema al añadir B, suponiendo constante la temperatura? Razonar la respuesta.
- Datos:  $R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

## PROBLEMAS DE SOLUBILIDAD Y PRECIPITACIÓN

## ..... Solubilidad y constante del producto de solubilidad .....

48. [EBAU, Extremadura 2012] a) ¿Qué entiende por solubilidad de un compuesto?  
b) Deduzca una expresión que relacione la solubilidad y la constante del producto de solubilidad para una sal de tipo  $A_mB_n$ .
49. [EBAU, Extremadura 2019] Se tiene tres sales de AgCl, AgBr y AgI.  
a) Calcular la solubilidad de las tres sales, expresándolas en  $\text{g L}^{-1}$ .  
b) Ordenar las tres sales de mayor a menor solubilidad.  
 $K_{ps}$ : AgCl =  $1.7 \times 10^{-10}$ ; AgBr =  $5.6 \times 10^{-13}$ ; AgI =  $1.1 \times 10^{-16}$   
Masas atómicas (u): Ag=107.9; Br=79.9; I=126.9; Cl=35.5
50. [EBAU, Comunidad Valenciana 2008] Ordene razonadamente las siguientes sales de mayor a menor solubilidad en agua: BaSO<sub>4</sub>, ZnS, CaCO<sub>3</sub>, AgCl.  
Datos. Productos de solubilidad,  $K_s$ : BaSO<sub>4</sub> =  $1.10 \times 10^{-10}$ ; ZnS =  $2.50 \times 10^{-22}$ ; CaCO<sub>3</sub> =  $9.00 \times 10^{-9}$ ; AgCl =  $1.10 \times 10^{-10}$
51. [EBAU, Extremadura 2012] Para preparar 500 mL de disolución saturada de AgBrO<sub>3</sub> se usaron 900 mg de esta sal. Hallar la  $K_{ps}$  del bromato de plata.  
*Solución:*  $K_{ps} = 5.83 \times 10^{-5}$
52. [EBAU, Comunidad Valenciana 2005] El producto de solubilidad a 25 °C del hidróxido de aluminio, Al(OH)<sub>3</sub>, es  $K_s = 2.0 \times 10^{-32}$ . Calcule:  
a) La solubilidad molar del compuesto.  
b) La cantidad en gramos de Al<sup>3+</sup>, que hay en un mililitro de disolución saturada del compuesto.

## ..... Efecto del ion común .....

53. [EBAU, Extremadura 2018] Calcula la solubilidad del AgBr a 25 °C, expresada en g/L:  
(a) en agua pura.  
(b) en una disolución acuosa 0.1 M de NaBr, sabiendo que  $K_s \text{AgBr}(25^\circ\text{C}) = 7.7 \times 10^{-13}$ .  
Masas atómicas (u): Ag=107.9; Br=79.9  
*Solución:*  $s = 1.65 \times 10^{-4} \text{ g/L}$ ;  $s' = 1.45 \times 10^{-9} \text{ g/L}$
54. [EBAU, Extremadura 2018] Se sabe que, a cierta temperatura, la solubilidad del PbI<sub>2</sub> en agua pura es 0.65 g L<sup>-1</sup>. Determinar:  
a) La constante del producto de solubilidad.  
b) La solubilidad (en g L<sup>-1</sup>) de PbI<sub>2</sub> en presencia de una disolución 0.15 M de KI, a la misma temperatura.  
Masas atómicas (u): Pb=207.2; I=126.9  
*Solución:*  $K_{ps} = 1.12 \times 10^{-8}$ ;  $s' = 2.29 \times 10^{-4} \text{ g/L}$
55. [EBAU, Extremadura 2020] La constante de solubilidad,  $K_{ps}$ , del difluoruro de calcio (CaF<sub>2</sub>) vale  $3.5 \times 10^{-11}$ .  
a) Calcular la solubilidad del CaF<sub>2</sub> en agua pura, expresada en mol L<sup>-1</sup>.  
b) Determinar la solubilidad del CaF<sub>2</sub> en presencia de una disolución de CaCl<sub>2</sub> 0.5 M.  
c) Justificar la diferencia de solubilidad entre las condiciones que se indican en los apartados a) y b).
56. [EBAU, Extremadura 2019] Sabiendo que la constante del producto de solubilidad ( $K_{ps}$ ) del Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> vale  $8.5 \times 10^{-12}$ , calcular la solubilidad del Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (expresada en mol L<sup>-1</sup>) a 25 °C en cada una de las siguientes situaciones:  
a) en agua pura;  
b) en presencia de una disolución de AgNO<sub>3</sub> 0.22 mol L<sup>-1</sup>;  
c) en presencia de una disolución de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 0.22 mol L<sup>-1</sup>.  
d) Razonar cuál de las dos sustancias (AgNO<sub>3</sub> o Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) es más efectiva para reducir la solubilidad del Ag<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.
57. [EBAU, Extremadura 2021] Una disolución saturada de PbCl<sub>2</sub> tiene a cierta temperatura una solubilidad de 0.835 g/L.  
(a) Calcular la constante del producto de solubilidad ( $K_{ps}$ ) del PbCl<sub>2</sub>.  
(b) ¿Cuál será la concentración de ion Cl<sup>-</sup> en esta disolución a la misma temperatura?  
(c) Si se añade KCl a la disolución de PbCl<sub>2</sub>, ¿qué le sucederá a la solubilidad? Razonar la respuesta.  
Datos: Masas atómicas (u): Pb = 207; Cl = 35.5

..... **Precipitación** .....

58. La solubilidad del  $\text{PbI}_2$  en agua pura, 25 °C, 0.70 g/L. Determina:

(a) El valor de la constante del producto de solubilidad.

(b) Si esta sal precipitará cuando se añadan 2.0 g de yoduro de sodio a 100 mL de una disolución 0.012 M de nitrato de plomo(II).

*Masas atómicas (u):* Pb=207.2; I=126.9; Na=23

*Solución:*  $K_{ps} = 1.4 \times 10^{-8}$  g/L; Precipita

59. A 100 mL de una disolución que contiene 0.194 g de cromato potásico y 0.117 g de cloruro sódico se añade otra que contiene iones plata, con lo que pueden precipitar cloruro de plata y cromato de plata. Justifica qué sal precipitará primero.

*Datos:*  $K_s(\text{AgCl}) = 1.7 \times 10^{-10}$ ;  $K_s(\text{Ag}_2\text{CrO}_4) = 1.9 \times 10^{-12}$ .

*Solución:* precipita antes AgCl.

60. [EBAU, Extremadura 2020] Se mezclan 20 mL de una disolución acuosa de  $\text{BaCl}_2$  de concentración 0.5 molar con 80 mL de una disolución acuosa de  $\text{CaSO}_4$  de concentración 0.04 molar. Suponer volúmenes aditivos.

a) Razonar si se formará precipitado de  $\text{BaSO}_4$ .

b) Calcular la solubilidad en agua del  $\text{BaSO}_4$ , expresada en  $\text{g L}^{-1}$ .

$K_{ps} \text{ BaSO}_4 = 1.1 \times 10^{-10}$ ; *Masas atómicas (u):* Ba=137.3; S=32.1; O=16.0

61. [EBAU, Extremadura 2017] Se añaden 20 mL de una disolución 0.01 M de  $\text{AgNO}_3$  a 80 mL de otra disolución 0.05 M de  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . Si la  $K_{ps}$  del  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  es  $3.9 \times 10^{-12}$ .

a) Razonar si se producirá precipitado en la mezcla anterior.

b) Calcular la solubilidad ( $\text{g L}^{-1}$ ) del  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  en agua pura.

*Masas atómicas (u):* O=16; Cr=52.1; Ag=108

62. [EBAU, Extremadura 2019] a) Una disolución contiene una  $[\text{Ca}^{2+}] = 1 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ . Hallar la concentración de ion fluoruro mínima para que comience a precipitar el  $\text{CaF}_2$ , cuyo  $K_{ps} = 3.9 \times 10^{-11}$

b) Calcular la solubilidad en agua pura del  $\text{CaF}_2$ , expresada en  $\text{mol L}^{-1}$ .

*Masas atómicas (u):* Ca=40; F=19

*Solución:*  $[\text{F}^-] = 1.975 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ ;  $s = 2.14 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$

63. En diversos países la fluoración del agua de consumo humano es utilizada para prevenir la caries dental.

a) Si el producto de solubilidad,  $K_{ps}$ , del  $\text{CaF}_2$  es  $10^{-10}$ , calcule basándose en las reacciones correspondientes la solubilidad de  $\text{CaF}_2$ .

b) ¿Qué cantidad de NaF hay que añadir a 1 L de una disolución que contiene  $20 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{Ca}^{2+}$  para que empiece a precipitar  $\text{CaF}_2$ ?

*Datos:* masas atómicas relativas F=19; Na=23 y Ca=40.

*Solución:*  $s = 2.92 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ ;  $m_{\text{NaF}} = 18.8 \text{ mg}$

..... **Factores que afectan a la solubilidad** .....

64. Indique, razonadamente, si para aumentar la solubilidad del  $\text{PbCl}_2$  en agua habría que:

a) Añadir más agua.

b) Añadir HCl.

c) Aumentar la temperatura.

65. [EBAU, Andalucía reserva 2021] Se prepara una disolución de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  en agua, quedando en el fondo del recipiente una parte del sólido sin disolver. Justifique cómo afecta a la solubilidad del compuesto:

a) La adición de  $\text{FeCl}_2$ .

b) Un aumento del pH.

c) La adición de agua.



## SELECTIVIDAD

66. [EBAU, Andalucía reserva 2021] La descomposición del cianuro de amonio a 11 °C en un recipiente de 2 L alcanza una presión total de 0.3 atm cuando se establece el siguiente equilibrio:  $\text{NH}_4\text{CN(s)} \rightleftharpoons \text{NH}_3\text{(g)} + \text{HCN(g)}$

a) Determine  $K_C$  y  $K_P$ .

b) Si se parte de 1.0 g de cianuro de amonio, calcule la masa que queda sin descomponer en las mismas condiciones de presión y temperatura.

Masas atómicas ( $u$ ):  $N=14$ ;  $C=12$ ;  $H=1$

Solución: a)  $K_P = 0.0225$ ;  $K_C = 4.46 \times 10^{-5}$ ; b) 0.44 g  $\text{NH}_4\text{CN}$

67. [EBAU, Andalucía reserva 2021] Se introduce cierta cantidad de A(s) en un matraz de 2 L. A 100 °C, el equilibrio  $\text{A(s)} \rightleftharpoons \text{B(s)} + \text{C(g)} + \text{D(g)}$  se alcanza cuando la presión es de 0.962 atm. Calcule:

a) La constante  $K_P$  de dicho equilibrio.

b) La masa de A(s) que se descompone.

Datos:  $R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ; masa molar de A =  $84 \text{ g mol}^{-1}$

68. [EBAU, Andalucía reserva 2021] Se calienta NOCl puro a 240 °C en un recipiente de 1 L, estableciéndose el siguiente equilibrio:  $2 \text{NOCl(g)} \rightleftharpoons 2 \text{NO(g)} + \text{Cl}_2\text{(g)}$ . Sabiendo que la presión total en el equilibrio es de 1 atm y la presión parcial de NOCl es de 0.64 atm:

a) Calcule las presiones parciales de NO y  $\text{Cl}_2$  en el equilibrio.

b) Determine  $K_C$  y  $K_P$ .

Dato:  $R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

69. [EBAU, Andalucía 2021] Dada la reacción a 25 °C y 1 atm de presión  $\text{N}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2 \text{NO(g)}$ ;  $\Delta H = 180.2 \text{ kJ}$ , razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

a) La constante de equilibrio  $K_P$  se duplica si se duplica la presión.

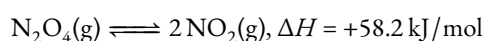
b) El sentido de la reacción se favorece hacia la izquierda si se aumenta la temperatura.

c) El valor de la constante de equilibrio para este proceso depende del catalizador utilizado.

70. [EBAU, Andalucía 2020] Justifique la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones:

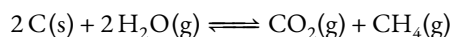
a) Para un equilibrio,  $K_P$  nunca puede ser más pequeña que  $K_C$ .

b) Para aumentar la concentración de  $\text{NO}_2$  en el equilibrio:



tendremos que calentar el sistema.

c) Un incremento de la presión en el siguiente equilibrio:



aumenta la producción de metano gaseoso.

71. [EBAU, Comunidad Valenciana 2019] El hidrogenocarbonato de sodio,  $\text{NaHCO}_3\text{(s)}$ , se utiliza en algunos extintores químicos secos ya que los gases producidos en su descomposición extinguen el fuego. El equilibrio de descomposición del  $\text{NaHCO}_3\text{(s)}$  puede expresarse como:  $2 \text{NaHCO}_3\text{(s)} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3\text{(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(g)}$

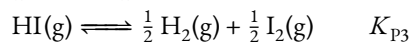
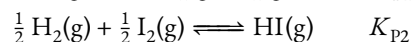
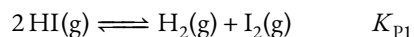
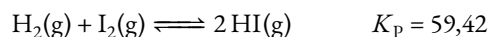
Para estudiar este equilibrio en el laboratorio, 200 g de  $\text{NaHCO}_3\text{(s)}$  se depositaron en un recipiente cerrado de 25.0 L de volumen, en el que previamente se ha hecho el vacío, que se calentó hasta alcanzar la temperatura 110 °C. La presión en el interior del recipiente, una vez alcanzado el equilibrio, fue de 1.646 atm. Calcule:

a) La cantidad (en g) de  $\text{NaHCO}_3\text{(s)}$  que queda en el extintor tras alcanzarse el equilibrio a 110 °C.

b) El valor de las constantes de equilibrio  $K_P$  y  $K_C$  a esta temperatura.

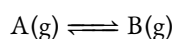
Dato. Constante de los gases,  $R = 0.082 \text{ atm L mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

72. [PAU, Comunidad Valenciana 1997] Las siguientes reacciones han alcanzado el equilibrio a una misma temperatura:

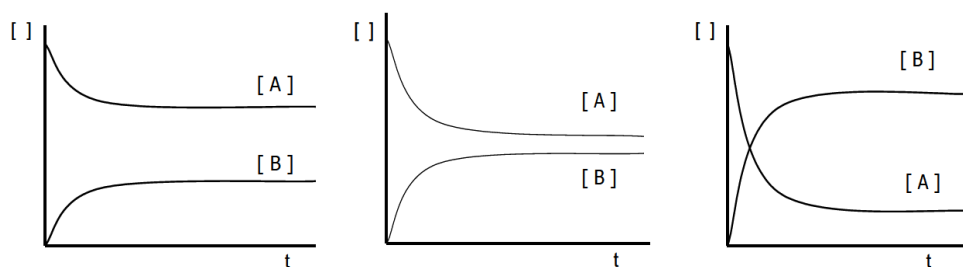


Calcule el valor de las constantes  $K_{p1}$ ,  $K_{p2}$  y  $K_{p3}$ .

73. [PAU, Comunidad Valenciana 1998] Para una hipotética reacción, cuya ecuación química es:



se plantean como posibles gráficas Concentración =  $f(t)$



Justifique qué gráfica corresponderá a cada uno de los siguientes casos:

a)  $K_C \gg \gg \gg 1$

b)  $K_C \ll \ll \ll 1$

c)  $K_C \approx 1$

74. [EBAU, Andalucía reserva 2021] Se disuelve hidróxido de cadmio,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ , en agua hasta obtener una disolución saturada a una temperatura dada. Sabiendo que la concentración de iones  $\text{OH}^-$  es  $3,68 \times 10^{-5} \text{ M}$ , calcule:

- a) La solubilidad del hidróxido de cadmio y el valor de la constante del producto de solubilidad del compuesto a esta temperatura.  
b) Si a 100 mL de la disolución anterior se le añaden 0.5 g de NaOH, ¿cuál será la concentración molar de iones  $\text{Cd}^{2+}$  en la disolución?

Datos: Masas atómicas relativas: Na= 23; O= 16; H= 1

75. [EBAU, Andalucía reserva 2021] La solubilidad del cromato de plata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ) en agua a  $25^\circ\text{C}$  es  $0,0435 \text{ g/L}$ .

- a) Escriba el equilibrio de solubilidad en agua del cromato de plata y calcule el producto de solubilidad de la sal a  $25^\circ\text{C}$ .  
b) Calcule si se formará precipitado cuando se mezclan 20 mL de cromato de sodio ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ )  $0,08 \text{ M}$  con 30 mL de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ )  $5 \times 10^{-3} \text{ M}$ . Considere los volúmenes aditivos.

Datos: Masas atómicas relativas: O= 16; Cr= 52; Ag= 107,8

76. [EBAU, Andalucía reserva 2021] Justifique si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a) Para una disolución saturada de hidróxido de aluminio,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , se cumple que:  $K_s = [\text{Al}^{3+}][\text{OH}^-]$   
b) En una disolución saturada de fluoruro de bario,  $\text{BaF}_2$ , se cumple que  $[\text{Ba}^{2+}] = 2[\text{F}^-]$   
c) El producto de solubilidad ( $K_s$ ) del  $\text{MgF}_2$  disminuye al añadir  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  a una disolución acuosa de  $\text{MgF}_2$ .

77. [EBAU, Cantabria 2021] En la tabla adjunta se recogen los valores, a distintas temperaturas, de la constante de equilibrio químico:  $2\text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

T(K)	298	400	600	800	1000
Kp	$2,82 \times 10^{-25}$	$1,78 \times 10^{-16}$	$1,98 \times 10^{-8}$	$1,29 \times 10^{-3}$	$2,64 \times 10^{-1}$

- (a) Justifique si la reacción anterior es endotérmica o exotérmica.  
(b) Explique cómo afecta al equilibrio un aumento de la presión, manteniendo constante la temperatura.