

# TERMODINÁMICA QUÍMICA | 2.º BACH

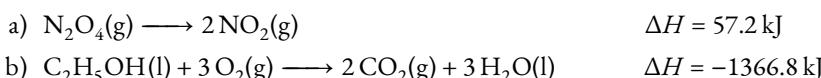
## EJERCICIOS

ALBA LÓPEZ VALENZUELA

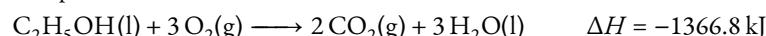
ANTONIO GONZÁLEZ MORENO

### ..... Calor en las reacciones químicas .....

- 1 Dibuja el diagrama entálpico y explica el significado de las ecuaciones termoquímicas siguientes:



- 2 Dada la siguiente reacción química:



Calcula el intercambio de calor desprendido en la combustión de 100 g de  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .

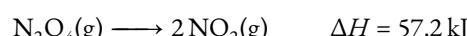
*Solución:*  $-2971.3 \text{ kJ}$

- 3 El gas amoniaco se descompone en gas hidrógeno y gas nitrógeno cuando se calienta. En determinadas condiciones de presión y temperatura, se necesitan 270 kJ para descomponer 100 g de amoniaco.

- a) Escribe la ecuación termoquímica del proceso.  
b) Determina qué volumen de gas hidrógeno, medido a  $50^\circ\text{C}$  y 15 atm, se obtendrá, con 500 kJ y gas amoniaco en exceso.

*Solución:* b) 28.85 L

- 4 Dada la siguiente reacción química:



Calcula el intercambio de calor que acompaña a la producción de 506 g de  $\text{NO}_2$ .

*Solución:*  $\Delta H = 314.6 \text{ kJ}$

- 5 La entalpía de formación del amoniaco es  $-46.2 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Calcula el calor de reacción cuando se forman 3 litros de amoniaco en c.n.

*Solución:*  $\Delta H = -6.19 \text{ kJ}$

### ..... Ley de Hess .....

- 6 Calcula la entalpía de combustión del metano a partir de los datos de entalpías de formación de las Tablas.

*Solución:*  $\Delta H_c^\circ = -890.3 \text{ kJ/mol}$

- 7 La entalpía de reacción de combustión de un compuesto orgánico de fórmula  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$  es de  $-2540 \text{ kJ/mol}$ . Sabiendo que  $\Delta H_f^\circ [\text{CO}_2(\text{g})] = -393.5 \text{ kJ/mol}$  y  $\Delta H_f^\circ [\text{H}_2\text{O}(\text{g})] = -241.8 \text{ kJ/mol}$ . Calcula la entalpía de formación del compuesto orgánico.

*Solución:*  $\Delta H_f^\circ = -1271.8 \text{ kJ/mol}$

- 8 Calcula entalpía de combustión de 30 g de tolueno (metilbenceno),  $\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_3$  a partir de los siguientes datos de entalpías de formación:  $\Delta H_f^\circ [\text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_3] = 49.95 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta H_f^\circ [\text{CO}_2(\text{g})] = -393.5 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta H_f^\circ [\text{H}_2\text{O}(\text{l})] = -285.8 \text{ kJ/mol}$ .

*Solución:*  $\Delta H_f^\circ = -1287.3 \text{ kJ/mol}$

- 9 Si la entalpía de formación del  $\text{CO}_2(\text{g})$  vale  $-393.5 \text{ kJ/mol}$ , ¿cuánto valdrá la entalpía de combustión del carbono? Supón combustión completa.

- 10 Determina la entalpía de formación del etano  $\text{C}_2\text{H}_6$  gas a partir de los siguientes datos: entalpía de combustión del etano,  $-1425 \text{ kJ/mol}$ ; entalpía de combustión del carbono,  $-393.5 \text{ kJ/mol}$ ; entalpía de combustión del hidrógeno,  $-241.8 \text{ kJ/mol}$ .

*Solución:*  $\Delta H_f^\circ = -87.4 \text{ kJ/mol}$

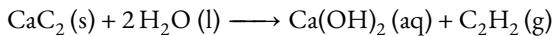
- 11 Calcula la variación de energía interna para la combustión del benceno líquido, si el proceso tiene lugar a temperatura constante. Datos: Tabla de entalpías de formación.

*Solución:*  $\Delta U = -3263.7 \text{ kJ/mol}$

- [12]** Calcula la cantidad de calor desprendido en la combustión de 1 kg de propano y la variación de energía interna si la reacción se produjese a la presión de 1 atm y 25 °C de temperatura. Datos: Tabla entalpías de formación.

*Solución:*  $\Delta H = -50\ 427 \text{ kJ}$ ;  $\Delta U = -50\ 199 \text{ kJ}$

- [13]** Calcula la entalpía estándar de la siguiente reacción:



Datos: entalpía de combustión del acetileno = -1300 kJ/mol; entalpías de formación del dióxido de carbono: -393.5 kJ/mol; del agua: -285.8 kJ/mol; de acetiluro de calcio: -56.2 kJ/mol; del hidróxido de calcio: -987 kJ/mol.

*Solución:*  $\Delta H_r^\circ = -132.0 \text{ kJ}$

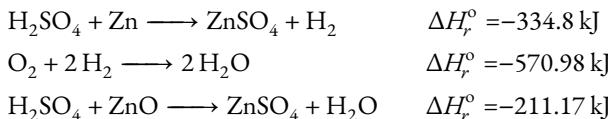
- [14]** Calcula la variación entálpica correspondiente a la disociación térmica del carbonato de calcio a temperatura constante y el consumo de carbón mineral que se requiere para obtener 1000 kg de cal viva, suponiendo un rendimiento del horno del 65 %. Datos: Entalpía de combustión del carbón mineral = 8330 kJ/kg. Tabla de entalpías de formación.

*Solución:* 589 kg

- [15]** Calcula el calor de formación del acetileno, conociendo los calores de formación del agua líquida (-285.5 kJ/mol) y del dióxido de carbono gas (-393.13 kJ/mol), así como el calor de combustión del acetileno (-1300 kJ/mol).

*Solución:*  $\Delta H_f^\circ = 228.24 \text{ kJ}$

- [16]** Calcula el calor de formación del óxido de zinc con los siguientes datos:



*Solución:*  $\Delta H_f^\circ = -408.32 \text{ kJ}$

- [17]** Cuando se quema 1 mol de metanol líquido se desprenden 726 kJ. Calcula:

- a) La entalpía estándar de formación del metanol líquido.

- b) La entalpía estándar de formación del gas sabiendo que la entalpía de vaporización es de 35 kJ/mol.

Datos: Entalpías de formación estándar: CO<sub>2</sub>=-393.5 kJ/mol, H<sub>2</sub>O=-285.8 kJ/mol

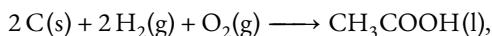
*Solución:* a)  $\Delta H_f^\circ = -239.1 \text{ kJ}$ ; b)  $\Delta H_f^\circ = -204.1 \text{ kJ/mol}$

- [18]** Calcula el calor latente de vaporización del agua a 25 °C en kJ/mol.

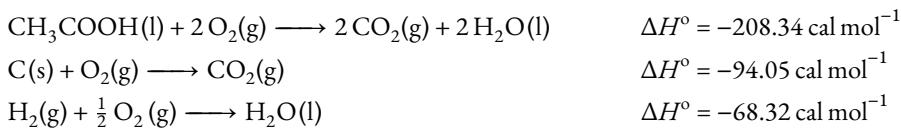
Datos:  $\Delta H_f^\circ$ , H<sub>2</sub>O(l) = -286 kJ/mol,  $\Delta H_f^\circ$ , H<sub>2</sub>O(v) = -242 kJ/mol

*Solución:*  $L_v = 44 \text{ kJ/mol} = 585.6 \text{ cal/g}$

- [19]** Encontrar el calor de reacción de la ecuación



teniendo como datos



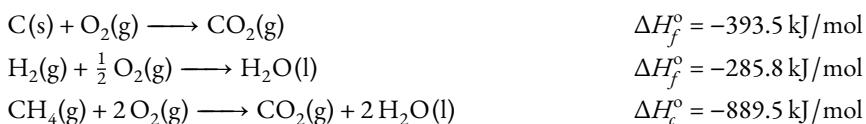
*Solución:*  $\Delta H_r^\circ = -116.4 \text{ cal/mol}$

- [20]** La gasolina puede ser considerada una mezcla de octanos (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>). Sabiendo que los calores de formación del agua, dióxido de carbono y del octano, son respectivamente: -242, -394, -250 kJ/mol. Calcular:

- a) La entalpía de combustión de la gasolina.  
 b) La energía liberada en la combustión de 5 litros de gasolina ( $d=800 \text{ kg/m}^3$ ). Exprésalo en calorías.  
 c) ¿Qué volumen de dióxido de carbono a 30 °C y 1 atm de presión se obtendrá en la combustión del apartado b?

*Solución:* a)  $\Delta H_c^\circ = -5080 \text{ kJ/mol}$ ; b) -44 800 kcal; c) 6973 L

**21** Dadas las siguientes reacciones a 25 °C:



- Calcula el volumen de CO<sub>2</sub>, a 10<sup>5</sup>Pa y 25 °C, que se desprende al quemar 150 g de metano, CH<sub>4</sub>.
- Calcula el calor desprendido en el caso anterior.
- Halla la entalpía de formación del metano.

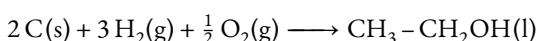
*Solución:* a)  $V_{\text{CO}_2} = 232.1 \text{ L}$ ; b)  $Q = -8339.06 \text{ kJ}$ ;  $\Delta H_f^\circ = -75.6 \text{ kJ/mol}$

**22** Sabiendo que las entalpías de formación del propano, del dióxido de carbono y del agua líquida son, respectivamente: -103.8 kJ/mol; -393.5 kJ/mol; -285.5 kJ/mol. Resuelve:

- La entalpía de combustión del propano a 298 K y 101 325 Pa.
- Calcula la cantidad de propano necesaria para calentar en las condiciones anteriores 50 L de agua de 10 °C y 70 °C, suponiendo un rendimiento del 70 %. *Dato:* calor específico del agua = 4180 J/kgK

*Solución:* a)  $\Delta H_c^\circ = -2218.7 \text{ kJ/mol}$ ; b) 355.25 g

**23** Sea la reacción de formación del etanol líquido, CH<sub>3</sub> – CH<sub>2</sub>OH(l):

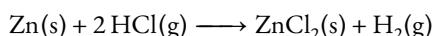


- Calcula la entalpía de formación del etanol líquido.
- Si en la oxidación de 1 mol de etanol a ácido acético, CH<sub>3</sub>COOH(l), se forma agua y se desprenden 478.4 kJ, calcula la entalpía de formación del ácido acético.

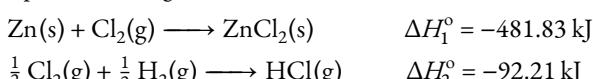
*Datos:*  $\Delta H_c^\circ$  en kJ/mol: [CH<sub>3</sub> – CH<sub>2</sub>OH(l)]: -1365.6; [CO(g)]: -282.70  
 $\Delta H_f^\circ$  en kJ/mol: [H<sub>2</sub>O(l)]: -285.8; [CO(g)]: -110.5

*Solución:* a)  $\Delta H_f^\circ = -278.2 \text{ kJ/mol}$ ; b)  $\Delta H_f^\circ = -470.8 \text{ kJ/mol}$

**24** Calcular el calor de reacción a presión constante del proceso



a partir de los siguientes datos:



*Solución:*  $\Delta H_r^\circ = Q_p = -297.41 \text{ kJ/mol}$

**25** Se quema 1 tonelada de carbón, que contiene un 8 % en masa de azufre, liberando como gases de combustión CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>. Calcula:

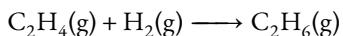
- El calor total obtenido en dicha combustión.
- El volumen de CO<sub>2</sub> desprendido, medido a 1 atm y 300 K.
- La masa de SO<sub>2</sub> desprendida.
- En la atmósfera, el SO<sub>2</sub> desprendido en las centrales térmicas se oxida dando lugar a SO<sub>3</sub>. El gas producido se convierte en ácido sulfúrico generando lluvia ácida. ¿Qué masa de ácido sulfúrico se podría producir? Ten en cuenta que 1 mol de SO<sub>2</sub> da lugar a 1 mol de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

*Datos:*  $\Delta H_f^\circ$  (kJ/mol): CO<sub>2</sub>= -393.5; SO<sub>2</sub> = -296.8.

*Solución:* a)  $Q_p = -3.091 \times 10^7 \text{ kJ/mol}$ ; b)  $V_{\text{CO}_2} = 1886 \text{ m}^3$ ; c)  $m_{\text{SO}_2} = 160 \text{ kg}$ ; d)  $m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 245 \text{ kg}$

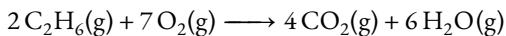
## ..... Entalpía de enlace .....

- 26) Calcula la variación de entalpía estándar del proceso de hidrogenación del eteno ( $C_2H_4$ ) usando los valores de entalpía de enlace.



*Solución:*  $\Delta H_r^o = -128 \text{ kJ/mol}$

- 27) Para la reacción en condiciones estándar:



- Calcule la entalpía de reacción a partir de las entalpías de enlace.
- Calcule la entalpía de reacción a partir de las entalpías estándar de formación de los reactivos y productos.
- Compare los resultados de los apartados a) y b)

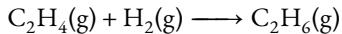
Datos:  $\Delta H_f^0[C_2H_6] = -84.667 \text{ kJ/mol}$

$\Delta H_f^0[CO_2] = -393.520 \text{ kJ/mol}$

$\Delta H_f^0[H_2O] = -241.800 \text{ kJ/mol}$

*Solución:* a)  $\Delta H_r^o = -2308 \text{ kJ/mol}$ ; b)  $\Delta H_r^o = -2855.55 \text{ kJ/mol}$

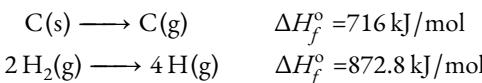
- 28) Sea la siguiente reacción:



- Halla la entalpía de la reacción a partir de las energías de enlace (Tablas).
- Si  $\Delta H_f^o$  del etileno (g),  $C_2H_4$ , es de 52.5 kJ/mol, calcula la entalpía de formación del etano (g),  $C_2H_6$ .

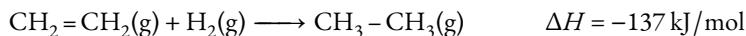
*Solución:* a)  $\Delta H_r^o = -128 \text{ kJ/mol}$ ; b)  $\Delta H_f^o = -75.5 \text{ kJ/mol}$

- 29) Con la siguiente información, y sabiendo que la entalpía de enlace C – H es  $414 \text{ kJ mol}^{-1}$ , calcula la entalpía estándar de formación del metano ( $CH_4$ ).



*Solución:*  $-67.2 \text{ kJ/mol}$

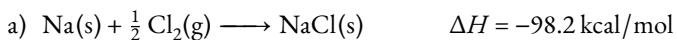
- 30) El etano,  $CH_3 - CH_3$ , se puede obtener por hidrogenación del eteno,  $CH_2 = CH_2(g)$ :



- Calcula la entalpía del enlace C = C si las energías de enlace de C – C, H – H y H – C son, respectivamente,  $-347.36 \text{ kJ/mol}$ ,  $-345.55 \text{ kJ/mol}$  y  $-412.98 \text{ kJ/mol}$ .
- Calcula la masa de etano formada a partir de 20 L de  $CH_2 = CH_2$  y 15 L de  $H_2$  medidos en condiciones normales. ¿Cuál es el calor desprendido?

## ..... Ciclo de Born-Haber .....

- 31) A) Calcular el calor que se produce cuando un mol de  $Na^+$  gaseoso reacciona con un mol de  $Cl^-$  también gaseoso para formar un mol de cloruro de sodio ( $NaCl$ ) sólido a través de la ley de Hess.



- B) Dibuja el ciclo de Born-Haber del apartado anterior, y calcula la energía reticular.

## Energía libre de Gibbs y entropía

**32** ¿Qué tiene más entropía: el hielo, el agua líquida o el vapor de agua?

**33** Indica si aumenta o disminuye la entropía en las siguientes reacciones químicas:

- |  |   |
|--|---|
| a) $\text{CO(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g})$                                   | f) $\text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$  |
| b) $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C(s)} \longrightarrow 2 \text{CO(g)}$  | g) $\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NaCl(s)}$  |
| c) $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{H}_2\text{O(g)}$                                   | h) $\text{I}_2(\text{s}) \longrightarrow \text{I}_2(\text{g})$  |
| d) $3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$                                   | i) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 6 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O(l)}$ |
| e) $\text{CuSO}_4(\text{s}) + \text{H}_2\text{O(l)} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}(\text{ac}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{ac})$ | j) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{HI(g)}$   |

**34** Con las tablas de entalpías de formación y energía libre de Gibbs de formación, calcula la variación de entropía a 25 °C que tiene lugar en la formación de alcohol etílico. Realiza el mismo cálculo utilizando la tabla de entropías de formación.

$$\text{Solución: } \Delta S_f^\circ = -345.3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

**35** Calcula la variación de energía libre de Gibbs para la combustión del metano de dos formas: a) Utilizando la tabla de energías libres de Gibbs; b) Utilizando la tabla de entropías de formación y entalpías de formación.

$$\text{Solución: a) } \Delta G_f^\circ = -817.9 \text{ kJ mol}^{-1}; \text{ b) } \Delta G_f^\circ = -817.9 \text{ kJ mol}^{-1}$$

**36** a) Justifica si será o no espontánea la reacción de formación del dióxido de carbono a 25 °C y 1 atm. DATOS: entalpía de formación del dióxido de carbono: -393.5 kJ/mol; entropías (en J/molK): carbono: 5.74; oxígeno: 205.1; dióxido de carbono: 213.7.

b) Calcula la temperatura de equilibrio para la citada reacción.

$$\text{Solución: a) } \Delta G_f^\circ = -394.35 \text{ kJ mol}^{-1}; \text{ b) } T_{eq}$$

**37** Determina la variación de energía libre de Gibbs a 25 °C en la reacción de formación del amoniaco, haciendo uso de las tablas de entalpías de formación y entropías de formación.

$$\text{Solución: } \Delta G_f^\circ = -16.69 \text{ kJ/mol}$$

**38** ¿Puede ser espontánea una reacción endotérmica? ¿Bajo qué condiciones?

**39** ¿Se puede afirmar categóricamente que una reacción exotérmica sea espontánea?

**40** En una reacción donde la variación de entropía es 300 J/molK, ¿cuál debe ser el valor mínimo de la entalpía para que sea espontánea?

$$\text{Solución: } \Delta H < 89.4 \text{ kJ/mol}$$

**41** Encuentre la temperatura a la cual serán espontáneas las reacciones con los siguientes valores de  $\Delta H$  y  $\Delta S$ :

- a)  $\Delta H = -126 \text{ kJ/mol}; \Delta S = 84 \text{ J/molK}$
- b)  $\Delta H = -11.7 \text{ kJ/mol}; \Delta S = -105 \text{ J/molK}$

$$\text{Solución: a) siempre; b) } T < 111.4 \text{ K}$$

**42** Evalúa la espontaneidad de los siguientes procesos sin hacer ningún cálculo:

- |  |                                    |
|--|------------------------------------|
| a) $\frac{1}{2} \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{NO}_2(\text{g})$ | $\Delta H = 33.2 \text{ kJ/mol}$   |
| b) $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \longrightarrow 2 \text{NO}_2(\text{g})$                        | $\Delta H = 57.1 \text{ kJ/mol}$   |
| c) $\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$ | $\Delta H = -285.8 \text{ kJ/mol}$ |
| d) $\text{C(s)} + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g})$                      | $\Delta H = -393.5 \text{ kJ/mol}$ |

**43** Indica si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a) La reacción de formación del  $\text{CO}_2(\text{g})$  es exotérmica.
- b) En la formación de 36 g de agua líquida se liberan 786.2 kJ.
- c) En la disolución acuosa del  $\text{NaCl(s)}$  se produce un aumento de entropía.

$$\text{Datos: } \Delta H_f^\circ [\text{CO}_2(\text{g})] = -393.5 \text{ kJ/mol}; \Delta H_f^\circ [\text{H}_2\text{O(l)}] = -285.8 \text{ kJ/mol}$$

**44** La vaporización de 1 mol de mercurio a 1 atm de presión y 357 °C absorbe 271 J por gramo de mercurio vaporizado. Considera despreciable el volumen del líquido. Calcula las magnitudes  $Q$ ,  $W$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta H$  y  $\Delta G$ . DATOS: Masa atómica Hg (u): 200.6 g/mol;  $\Delta S = 86.6 \text{ J/molK}$

$$\text{Solución: } Q = \Delta H = 54.4 \text{ kJ/mol}; W = 5.2 \text{ kJ/mol}; \Delta U = 49.2 \text{ kJ/mol}; \Delta G = -0.144 \text{ kJ/mol}$$