



# TERMODINÁMICA QUÍMICA | 2.º BACH

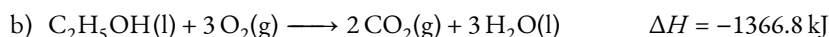
## EJERCICIOS

ALBA LÓPEZ VALENZUELA

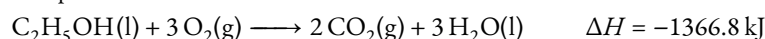
ANTONIO GONZÁLEZ MORENO

### ..... 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:**  $-2971.3 \text{ kJ}$

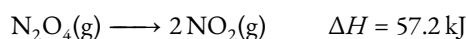
- 3 El gas amoníaco se descompone en gas hidrógeno y gas nitrógeno cuando se calienta. En determinadas condiciones de presión y temperatura, se necesitan 270 kJ para descomponer 100 g de amoníaco.

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 amoníaco en exceso.

**Solución:** b)  $28.85 \text{ L}$

- 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 amoníaco es  $-46.2 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Calcula el calor de reacción cuando se forman 3 litros de amoníaco 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:**  $\Delta H_f^\circ = -87.4 \text{ kJ/mol}$

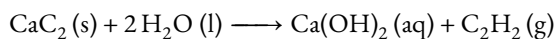
- 11 Calcula la variación de energía interna para la combustión del benceno líquido, si el proceso tiene lugar a temperatura constante. Datos: Tabla de entalpías de formación.

**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 =  $-1300\text{ kJ/mol}$ ; entalpías de formación del dióxido de carbono:  $-393.5\text{ kJ/mol}$ ; del agua:  $-285.8\text{ kJ/mol}$ ; de acetiluro de calcio:  $-56.2\text{ kJ/mol}$ ; del hidróxido de calcio:  $-987\text{ kJ/mol}$ .

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

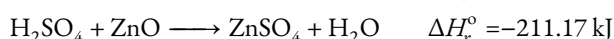
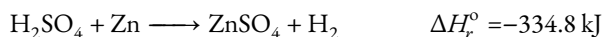
- 14) Calcula la variación entálpica correspondiente a la disociación térmica del carbonato de calcio a temperatura constante y el consumo de carbón mineral que se requiere para obtener 1000 kg de cal viva, suponiendo un rendimiento del horno del 65 %. Datos: Entalpía de combustión del carbón mineral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

**Solución:** 589 kg

- 15) Calcula el calor de formación del acetileno, conociendo los calores de formación del agua líquida ( $-285.5\text{ kJ/mol}$ ) y del dióxido de carbono gas ( $-393.13\text{ kJ/mol}$ ), así como el calor de combustión del acetileno ( $-1300\text{ kJ/mol}$ ).

**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:

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

Datos: Entalpías de formación estándar:  $\text{CO}_2 = -393.5\text{ kJ/mol}$ ,  $\text{H}_2\text{O} = -285.8\text{ kJ/mol}$

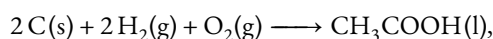
**Solución:** a)  $\Delta H_f^\circ = -239.1\text{ kJ}$ ; b)  $\Delta H_f^\circ = -204.1\text{ kJ/mol}$

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

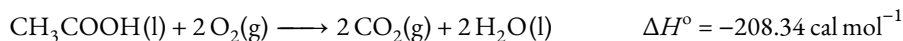
Datos:  $\Delta H_f^\circ$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) = -286\text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta H_f^\circ$ ,  $\text{H}_2\text{O}(\text{v}) = -242\text{ kJ/mol}$

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

- 19) Encontrar el calor de reacción de la ecuación



teniendo como datos



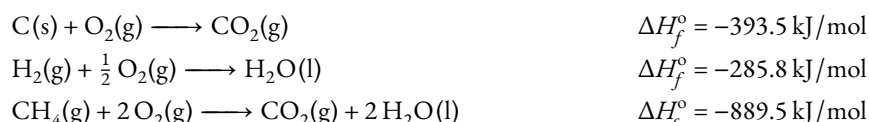
**Solución:**  $\Delta H_r^\circ = -116.4\text{ cal/mol}$

- 20) La gasolina puede ser considerada una mezcla de octanos ( $\text{C}_8\text{H}_{18}$ ). Sabiendo que los calores de formación del agua, dióxido de carbono y del octano, son respectivamente:  $-242$ ,  $-394$ ,  $-250\text{ kJ/mol}$ . Calcular:

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

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

- 21 Dadas las siguientes reacciones a 25 °C:



- a) Calcula el volumen de  $\text{CO}_2$ , a  $10^5 \text{ Pa}$  y  $25^\circ \text{C}$ , que se desprende al quemar 150 g de metano,  $\text{CH}_4$ .  
 b) Calcula el calor desprendido en el caso anterior.  
 c) Halla la entalpía de formación del metano.

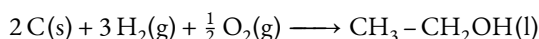
**Solución:** a)  $V_{\text{CO}_2} = 232.1 \text{ L}$ ; b)  $Q = -8339.06 \text{ kJ}$ ;  $\Delta H_f^\circ = -75.6 \text{ kJ/mol}$

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

- a) La entalpía de combustión del propano a  $298 \text{ K}$  y  $101325 \text{ Pa}$ .  
 b) Calcula la cantidad de propano necesaria para calentar en las condiciones anteriores 50 L de agua de  $10^\circ \text{C}$  y  $70^\circ \text{C}$ , suponiendo un rendimiento del 70 %. *Dato:* calor específico del agua =  $4180 \text{ J/kgK}$

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

- 23 Sea la reacción de formación del etanol líquido,  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH(l)}$ :



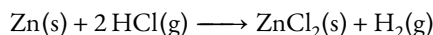
- a) Calcula la entalpía de formación del etanol líquido.  
 b) Si en la oxidación de 1 mol de etanol a ácido acético,  $\text{CH}_3\text{COOH(l)}$ , se forma agua y se desprenden  $478.4 \text{ kJ}$ , calcula la entalpía de formación del ácido acético.

*Datos:*  $\Delta H_c^\circ$  en  $\text{kJ/mol}$ : [ $\text{CH}_3 - \text{CH}_2\text{OH(l)}$ ]:  $-1365.6$ ; [ $\text{CO(g)}$ ]:  $-282.70$

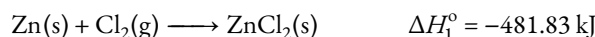
$\Delta H_f^\circ$  en  $\text{kJ/mol}$ : [ $\text{H}_2\text{O(l)}$ ]:  $-285.8$ ; [ $\text{CO(g)}$ ]:  $-110.5$

**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  $\text{CO}_2$  y  $\text{SO}_2$ . Calcula:

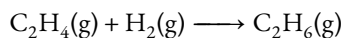
- a) El calor total obtenido en dicha combustión.  
 b) El volumen de  $\text{CO}_2$  desprendido, medido a  $1 \text{ atm}$  y  $300 \text{ K}$ .  
 c) La masa de  $\text{SO}_2$  desprendida.  
 d) En la atmósfera, el  $\text{SO}_2$  desprendido en las centrales térmicas se oxida dando lugar a  $\text{SO}_3$ . 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  $\text{SO}_2$  da lugar a 1 mol de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

*Datos:*  $\Delta H_f^\circ$  ( $\text{kJ/mol}$ ):  $\text{CO}_2 = -393.5$ ;  $\text{SO}_2 = -296.8$ .

**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)  $m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 245 \text{ kg}$

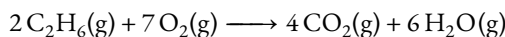
## ..... Entalpía de enlace .....

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



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

- 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)

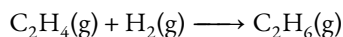
Datos:  $\Delta H_f^\circ [C_2H_6] = -84.667 \text{ kJ/mol}$

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

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

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

- 28 Sea la siguiente reacción:



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

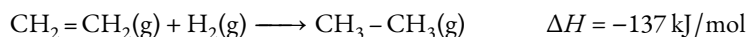
**Solución:** a)  $\Delta H_r^\circ = -128 \text{ kJ/mol}$ ; b)  $\Delta H_f^\circ = -75.5 \text{ kJ/mol}$

- 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:**  $-67.2 \text{ kJ/mol}$

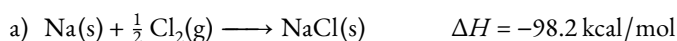
- 30 El etano,  $CH_3 - CH_3$ , se puede obtener por hidrogenación del eteno,  $CH_2 = CH_2(g)$ :



- 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.  
**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.  
**Solución:** a)  $\Delta G_f^\circ = -817.9 \text{ kJ mol}^{-1}$ ; 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:  $-393.5 \text{ kJ/mol}$ ; entropías (en  $\text{J/molK}$ ): carbono: 5.74; oxígeno: 205.1; dióxido de carbono: 213.7.  
 b) Calcula la temperatura de equilibrio para la citada reacción.  
**Solución:** a)  $\Delta G_f^\circ = -394.35 \text{ kJ mol}^{-1}$ ;  $T_{eq}$
- 37) Determina la variación de energía libre de Gibbs a 25 °C en la reacción de formación del amoníaco, haciendo uso de las tablas de entalpías de formación y entropías de formación.  
**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  $300 \text{ J/molK}$ , ¿cuál debe ser el valor mínimo de la entalpía para que sea espontánea?  
**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) $\Delta H = -11.7 \text{ kJ/mol}$ ; $\Delta S = -105 \text{ J/molK}$ |
- 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:
- La reacción de formación del  $\text{CO}_2\text{(g)}$  es exotérmica.
  - En la formación de 36 g de agua líquida se liberan 786.2 kJ.
  - En la disolución acuosa del  $\text{NaCl(s)}$  se produce un aumento de entropía.
- 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. Calcula las magnitudes  $Q$ ,  $W$ ,  $\Delta U$ ,  $\Delta H$  y  $\Delta G$ . **Datos:**  $\Delta S = \text{J/molK}$   
**Solución:**  $Q = \Delta H = 54.36 \text{ kJ/mol}$ ;  $W = 5.17 \text{ kJ}$ ;  $\Delta U = 49.19 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta U = 49.19 \text{ kJ/mol}$ ;  $\Delta G = -0.144 \text{ kJ/mol}$