

## COLOQUIO N° 11:

### TERMODINÁMICA II: ENTALPÍA, ENTROPÍA, ENERGÍA LIBRE.

#### Ecuaciones Básicas

$\Delta E = q + w$	Expresión matemática de la primera ley de la termodinámica.
$w = -P\Delta V$	Cálculo del trabajo en la expansión o compresión gaseosa.
$H = E + PV$	Definición de entalpía.
$\Delta H = \Delta E + P\Delta V$	Cálculo del cambio en la entalpía (o energía) para un proceso a presión constante.
$C = ms$	Definición de capacidad calorífica.
$q = ms\Delta t$	Cálculo del cambio calorífico en términos del calor específico.
$q = C\Delta t$	Cálculo del cambio calorífico en términos de capacidad calorífica.
$\Delta H_{\text{reac}}^{\circ} = \sum n\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{productos}) - \sum m\Delta H_{\text{f}}^{\circ}(\text{reactivos})$	Cálculo de la entalpía estándar de la reacción.
$\Delta H_{\text{disol}} = U + \Delta H_{\text{hidr}}$	Contribución de energía reticular y de hidratación al calor de disolución.
$\Delta S_{\text{univ}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{alred}} > 0$	La segunda ley de la termodinámica (proceso espontáneo).
$\Delta S_{\text{univ}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{alred}} = 0$	La segunda ley de la termodinámica (proceso de equilibrio).
$\Delta S_{\text{reacción}}^{\circ} = \sum nS^{\circ}(\text{productos}) - \sum mS^{\circ}(\text{reactivos})$	Cambio de la entropía estándar de una reacción.
$G = H - TS$	Definición de la energía libre de Gibbs.
$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$	Cambio de la energía libre a temperatura constante.
$\Delta G_{\text{reacción}}^{\circ} = \sum n\Delta G_{\text{f}}^{\circ}(\text{productos}) - \sum m\Delta G_{\text{f}}^{\circ}(\text{reactivos})$	Cambio de la energía libre estándar de una reacción.
$\Delta G = \Delta G^{\circ} + RT \ln Q$	Relación entre el cambio de la energía libre y el cambio de la energía libre estándar y el cociente de reacción.
$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$	Relación entre el cambio de la energía libre estándar y la constante de equilibrio.

**NOTA:** Los problemas con el símbolo \*\* están propuestos para resolver en clase.

**PROBLEMA 1.**

¿Cuál es la diferencia entre calor específico y capacidad calorífica? ¿Cuáles son las unidades de estas dos cantidades? ¿Cuál es la propiedad intensiva y cuál la extensiva?

\*\* **PROBLEMA 2.**

Dos objetos sólidos, A y B, se colocan en agua hirviendo y se permite que alcancen la temperatura del agua. Luego, se sacan y se colocan cada uno en un vaso de precipitados que contiene 1000 g de agua a 10.0 °C. El objeto A incrementa la temperatura del agua en 3.50 °C, el objeto B incrementa la temperatura del agua en 2.60 °C.

- ¿Cuál objeto tiene la mayor capacidad calorífica?
- ¿Qué puede usted decir acerca de los calores específicos de A y B?

\*\* **PROBLEMA 3.**

Considere los datos de la tabla. Cuando estos dos metales entran en contacto, ¿qué puede suceder de lo siguiente?

Metal	Al	Cu
Masa (g)	10	30
Calor específico (J/g °C)	0.900	0.385
Temperatura (°C)	40	60

- El calor fluirá del Al al Cu debido a que el Al tiene un calor específico mayor.
- El calor fluirá del Cu al Al debido a que el Cu tiene una masa mayor.
- El calor fluirá del Cu al Al debido a que el Cu tiene una capacidad calorífica mayor.
- El calor fluirá del Cu al Al debido a que el Cu tiene una temperatura más alta.
- El calor no fluirá hacia ninguna dirección.

**PROBLEMA 4.**

Un trozo de plata con una masa de 362 g tiene una capacidad calorífica de 85.7 J/°C. ¿Cuál es el calor específico de la plata?

**PROBLEMA 5.**

Un trozo de 6.22 kg de cobre metálico se calienta desde 20.5 hasta 324.3°C. Calcule el calor absorbido (en kJ) por el metal.

\*\* **PROBLEMA 6.**

El calor específico del octano, C<sub>8</sub>H<sub>18(l)</sub>, es 2.22 J/g K.

- ¿Cuántos J de calor se necesitan para elevar la temperatura de 80.0 g de octano de 10.0 a 25.0 °C?
- Indique en qué caso se requerirá más calor: incrementar la temperatura de 1 mol de C<sub>8</sub>H<sub>18(l)</sub> por una cierta cantidad o aumentar la temperatura de 1 mol de H<sub>2</sub>O<sub>(l)</sub> por la misma cantidad?

**PROBLEMA 7.**

A una muestra de agua a 23.4°C en un calorímetro de presión constante se agrega una pieza de aluminio de 12.1 g cuya temperatura es de 81.7°C. Si la temperatura final del agua es de 24.9°C, calcule la masa del agua en el calorímetro.

**PROBLEMA 8.**

Escriba la ecuación química balanceada cuyo valor de  $\Delta H_{rx}^{\circ}$  sea igual al de  $\Delta H_f^{\circ}$  para las siguientes sustancias:

- |                                  |                              |                                     |                                  |
|----------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| a) $\text{Ca}(\text{OH})_{2(s)}$ | d) $\text{CaF}_{2(s)}$       | g) azufre atómico, $\text{S}_{(g)}$ | j) $\text{Ru}(\text{OH})_{3(s)}$ |
| b) $\text{C}_6\text{H}_6(l)$     | e) $\text{PH}_3(g)$          | h) $\text{H}_2\text{O}(l)$          | k) ion $\text{Na}^+(g)$          |
| c) $\text{NaHCO}_{3(s)}$         | f) $\text{C}_3\text{H}_8(g)$ | i) $\text{H}_2\text{O}_2(l)$        |                                  |

**\*\* PROBLEMA 9.**

Escriba una ecuación termoquímica balanceada para las siguientes reacciones:

- La combustión completa de etanol,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(l)$ , para formar  $\text{H}_2\text{O}(g)$  y  $\text{CO}_2(g)$  a presión constante libera 1235 kJ de calor por mol de  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ .
- La descomposición de la cal apagada,  $\text{Ca}(\text{OH})_{2(s)}$ , en cal,  $\text{CaO}(s)$  y  $\text{H}_2\text{O}(g)$  a presión constante requiere de la adición de 109 kJ de calor por mol de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

**\*\* PROBLEMA 10.**

Cuando una muestra de 6.50 g de hidróxido de sodio sólido se disuelve en 100.0 g de agua en un calorímetro del tipo de vaso de café, la temperatura pasa de 21.6 a 37.8 °C. Suponiendo que el calor específico de la disolución es el mismo que el del agua pura, calcule el  $\Delta H$  (en kJ/mol NaOH) para el proceso de disolución

**PROBLEMA 11.**

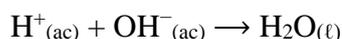
Cuando una muestra de 4.25 g de nitrato de amonio sólido se disuelve en 60.0 g de agua en un calorímetro del tipo de vaso de café, la temperatura pasa de 22.0 a 16.9 °C. Suponiendo que el calor específico de la disolución es el mismo que el del agua pura, calcule  $\Delta H$  (en kJ/mol  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) para el proceso de disolución



¿Este proceso es endotérmico o exotérmico?

**PROBLEMA 12.**

Una muestra de  $2.00 \times 10^2$  mL de HCl 0.862 M se mezcla con  $2.00 \times 10^2$  mL de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  0.431 M en un calorímetro a presión constante. La temperatura inicial de las disoluciones de HCl y  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  es la misma a 20.48°C. Calcule cuál es la temperatura final de la disolución mezclada, si el calor de neutralización es de -56.2 kJ/mol para el proceso

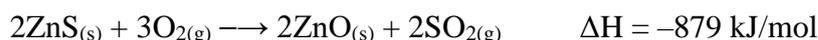


**\*\* PROBLEMA 13.**

Se queman 7.20 g de magnesio en exceso de nitrógeno a presión atmosférica constante para dar  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ . A continuación, la mezcla de reacción se lleva a 25 °C. En este proceso se desprenden 68.35 kJ de calor. ¿Cuál es la entalpía molar de formación estándar del  $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ?

**PROBLEMA 14.**

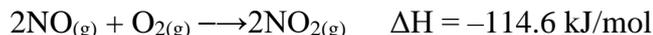
El primer paso en la recuperación industrial del zinc de su mena de sulfuro de zinc es el tostado, es decir, la conversión de  $\text{ZnS}$  en  $\text{ZnO}$  al calentarlo:



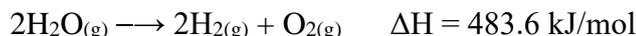
Calcule el calor liberado (en kJ) por gramo de  $\text{ZnS}$  tostado.

**PROBLEMA 15.**

Determine la cantidad de calor (en kJ) liberado cuando se producen  $1.26 \times 10^4$  g de  $\text{NO}_2$  de acuerdo con la ecuación:

**\*\* PROBLEMA 16.**

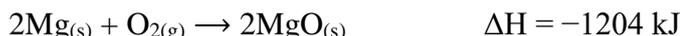
Considere la reacción:



Si 2.0 moles de  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  se convierten en  $\text{H}_{2(g)}$  y  $\text{O}_{2(g)}$  contra una presión de 1.0 atm a 125°C, ¿cuál será  $\Delta U$  para esta reacción?

**PROBLEMA 17.**

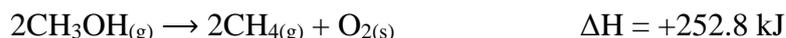
Considere la siguiente reacción:



- ¿Esta reacción es endotérmica o exotérmica?
- Calcule la cantidad de calor transferida cuando 3.55 g de  $\text{Mg}_{(s)}$  reaccionan a presión constante.
- ¿Cuántos gramos de  $\text{MgO}$  se producen durante un cambio de entalpía de -234 kJ?
- ¿Cuántos kilojoules de calor se absorben cuando se descomponen 40.3 g de  $\text{MgO}_{(s)}$  en  $\text{Mg}_{(s)}$  y  $\text{O}_{2(g)}$  a presión constante?

**PROBLEMA 18.**

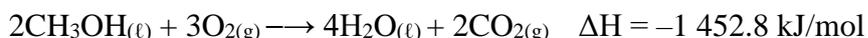
Considere la siguiente reacción:



- ¿Esta reacción es exotérmica o endotérmica?
- Calcule la cantidad de calor transferida cuando 24.0 g de  $\text{CH}_3\text{OH}_{(g)}$  se descomponen mediante la reacción a presión constante.
- Para una muestra dada de  $\text{CH}_3\text{OH}$ , el cambio de entalpía durante la reacción es de 82.1 kJ. ¿Cuántos gramos de gas metano se producen?
- ¿Cuántos kilojoules de calor se liberan cuando reaccionan por completo 38.5 g de  $\text{CH}_{4(g)}$  con  $\text{O}_{2(g)}$  para formar  $\text{CH}_3\text{OH}_{(g)}$  a presión constante?

**PROBLEMA 19.**

De acuerdo con la siguiente reacción, calcule cuál es el valor de  $\Delta H$  si:



- la ecuación se multiplica por 2
- se invierte la dirección de la reacción de manera que los productos se conviertan en reactivos y viceversa
- se forma vapor de agua como producto en vez de agua líquida

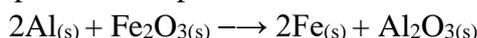
**PROBLEMA 20.**

Calcule el calor de combustión para cada una de las siguientes reacciones, a partir de las entalpías estándar de formación que se encuentran en el apéndice:

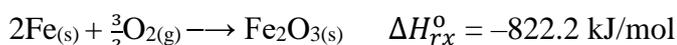
- |   |  |
|---|--|
| a) $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$                                     | c) $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$ |
| b) $2\text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) + 5\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 4\text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\ell)$ | d) $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\ell) + 2\text{SO}_2(\text{g})$  |

**\* \* \* PROBLEMA 21.**

- Calcule el cambio de entalpía estándar para la reacción:



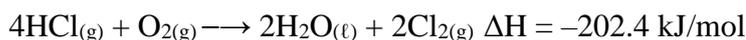
dado que



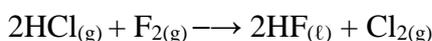
- Calcule la entalpía de reacción a 400 K por medio de la ley de Kirchoff.

**PROBLEMA 22.**

Mediante las entalpías de reacción siguientes,



Para la siguiente reacción, calcule:



- $\Delta H_{rx}^{\circ}$
- $\Delta H_{rx}$  a 100°C

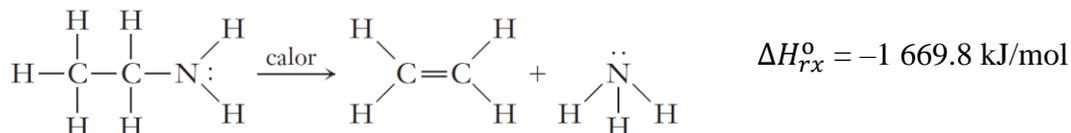
**PROBLEMA 23.**

Utilice las energías de enlace tabuladas para estimar la entalpía de reacción de las siguientes reacciones en fase gaseosa.

- |   |  |
|---|--|
| a) $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{BrH}_2\text{C}-\text{CH}_2\text{Br}$ | d) $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$ |
| b) $\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$                        | e) $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$     |
| c) $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$  |  |

**PROBLEMA 24.**

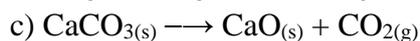
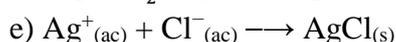
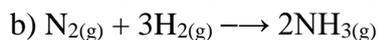
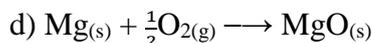
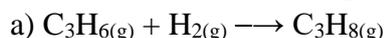
La etilamina experimenta una disociación endotérmica en fase gaseosa para dar etileno (o eteno) y amoníaco.



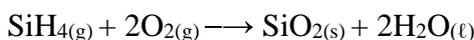
Se tienen las energías de enlace promedio por mol de enlaces: C–H: 413 kJ; C–C: 346 kJ; C=C: 602 kJ; N–H: 391 kJ. Calcule la energía de enlace C–N de la etilamina y compare su resultado con el valor tabulado.

**PROBLEMA 25.**

Sin efectuar cálculos, prediga si el cambio de entropía es positivo o negativo cuando cada reacción ocurre en la dirección en que está escrita.


**\*\* PROBLEMA 26.**

Evalúe  $\Delta S^{\circ}$  A 25 °C y 1 atm para la reacción:



$$S^{\circ}, \text{ J/mol K: } \quad 204.5 \quad 205.0 \quad 41.84 \quad 69.91$$

**PROBLEMA 27.**

El punto de ebullición normal de  $\text{Br}_2(\text{l})$  es 58.8 °C y su  $\Delta H_{\text{vap}} = 29.6 \text{ kJ/mol}$ .

a) Cuando el  $\text{Br}_2(\text{l})$  hierve en su punto normal de ebullición, ¿su entropía aumenta o disminuye?

b) Calcule el valor de  $\Delta S$  cuando se evapora un mol de  $\text{Br}_2(\text{l})$  a 58.8 °C.

**PROBLEMA 28.**

El galio elemental (Ga) se congela a 29.8 °C, y su entalpía molar de fusión es  $\Delta H_{\text{fus}} = 5.59 \text{ kJ/mol}$ .

a) Cuando el galio fundido se solidifica a  $\text{Ga}(\text{s})$  en su punto de fusión normal, ¿el  $\Delta S$  es positivo o negativo?

b) Calcule el valor de  $\Delta S$  cuando se solidifican 60.0 g de  $\text{Ga}(\text{l})$  a 29.8 °C.

**\*\* PROBLEMA 29.**

Calcule  $\Delta G^{\circ}$  a 298 K para la reacción:



$$\Delta H_{rx}^{\circ} (\text{kJ/mol}): \quad -2984 \quad -285.8 \quad -1281$$

$$S^{\circ} (\text{J/mol K}): \quad 228.9 \quad 69.91 \quad 110.5$$

**PROBLEMA 30.**

Utilice los valores de energía libre estándar de formación  $\Delta G_f^0$  del apéndice para calcular el cambio de energía libre estándar de las siguientes reacciones a 25 °C y 1 atm.

- $3\text{NO}_{2(g)} + \text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow 2\text{HNO}_{3(l)} + \text{NO}_{(g)}$
- $\text{SnO}_{2(s)} + 2\text{CO}_{(g)} \longrightarrow 2\text{CO}_{2(g)} + \text{Sn}_{(s)}$
- $2\text{Na}_{(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \longrightarrow 2\text{NaOH}_{(ac)} + \text{H}_{2(g)}$

**\*\* PROBLEMA 31.**

A partir de los valores de  $\Delta H$  y  $\Delta S$ , prediga cuáles de las siguientes reacciones serán espontáneas a 25°C.

- $\Delta H = 10.5 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta S = 30 \text{ J/K mol}$
- $\Delta H = 1.8 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta S = -113 \text{ J/K mol}$

Si las reacciones son no espontáneas a 25°C, ¿a qué temperatura puede hacerse espontánea cada una?

**PROBLEMA 32.**

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

- $\Delta H = -126 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta S = 84 \text{ J/K mol}$
- $\Delta H = -11.7 \text{ kJ/mol}$ ,  $\Delta S = -105 \text{ J/K mol}$

**\*\* PROBLEMA 33.**

Calcule  $\Delta G^0$  a 45 °C para reacciones en las cuales

- $\Delta H^0 = 293 \text{ kJ}$ ;  $\Delta S^0 = -695 \text{ J/K}$
- $\Delta H^0 = -1137 \text{ kJ}$ ;  $\Delta S^0 = 0.496 \text{ kJ/K}$
- $\Delta H^0 = -86.6 \text{ kJ}$ ;  $\Delta S^0 = -382 \text{ J/K}$

**APÉNDICE**
**Datos termodinámicos a 1 atm y 25°C\***

Sustancias inorgánicas			
Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (J/K · mol)
Ag(s)	0	0	42.7
Ag <sup>+</sup> (ac)	105.9	77.1	73.9
AgCl(s)	-127.0	-109.7	96.1
AgBr(s)	-99.5	-95.9	107.1
AgI(s)	-62.4	-66.3	114.2
AgNO <sub>3</sub> (s)	-123.1	-32.2	140.9
Al(s)	0	0	28.3
Al <sup>3+</sup> (ac)	-524.7	-481.2	-313.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1 669.8	-1576.4	50.99
As(s)	0	0	35.15
AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ac)	-870.3	-635.97	-144.77
AsH <sub>3</sub> (g)	171.5		
H <sub>3</sub> AsO <sub>4</sub> (s)	-900.4		
Au(s)	0	0	47.7
Au <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	80.8	163.2	125.5
AuCl(s)	-35.2		
AuCl <sub>3</sub> (s)	-118.4		
B(s)	0	0	6.5
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1 263.6	-1 184.1	54.0
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (s)	-1 087.9	-963.16	89.58
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> (ac)	-1 067.8	-963.3	159.8
Ba(s)	0	0	66.9
Ba <sup>2+</sup> (ac)	-538.4	-560.66	12.55
BaO(s)	-558.2	-528.4	70.3
BaCl <sub>2</sub> (s)	-860.1	-810.66	125.5
BaSO <sub>4</sub> (s)	-1 464.4	-1 353.1	132.2
BaCO <sub>3</sub> (s)	-1 218.8	-1 138.9	112.1
Be(s)	0	0	9.5
BeO(s)	-610.9	-581.58	14.1
Br <sub>2</sub> (l)	0	0	152.3
Br <sup>-</sup> (ac)	-120.9	-102.8	80.7
HBr(g)	-36.2	-53.2	198.48
C(grafito)	0	0	5.69
C(diamante)	1.90	2.87	2.4
CO(g)	-110.5	-137.3	197.9
CO <sub>2</sub> (g)	-393.5	-394.4	213.6
CO <sub>2</sub> (ac)	-412.9	-386.2	121.3
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-676.3	-528.1	-53.1

\* Las cantidades termodinámicas de los iones están basadas en los estados de referencia:  $\Delta H_f^\circ[\text{H}^+(\text{ac})] = 0$ ,  $\Delta G_f^\circ[\text{H}^+(\text{ac})] = 0$ , y  $S^\circ[\text{H}^+(\text{ac})] = 0$  (véase p. 807).

Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (J/K · mol)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	-691.1	-587.1	94.98
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (ac)	-699.7	-623.2	187.4
CS <sub>2</sub> (g)	115.3	65.1	237.8
CS <sub>2</sub> (l)	87.3	63.6	151.0
HCN(ac)	105.4	112.1	128.9
CN <sup>-</sup> (ac)	151.0	165.69	117.99
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO(s)	-333.19	-197.15	104.6
(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> CO(ac)	-319.2	-203.84	173.85
Ca(s)	0	0	41.6
Ca <sup>2+</sup> (ac)	-542.96	-553.0	-55.2
CaO(s)	-635.6	-604.2	39.8
Ca(OH) <sub>2</sub> (s)	-986.6	-896.8	83.4
CaF <sub>2</sub> (s)	-1214.6	-1161.9	68.87
CaCl <sub>2</sub> (s)	-794.96	-750.19	113.8
CaSO <sub>4</sub> (s)	-1432.69	-1320.3	106.69
CaCO <sub>3</sub> (s)	-1206.9	-1128.8	92.9
Cd(s)	0	0	51.46
Cd <sup>2+</sup> (ac)	-72.38	-77.7	-61.09
CdO(s)	-254.6	-225.06	54.8
CdCl <sub>2</sub> (s)	-389.1	-342.59	118.4
CdSO <sub>4</sub> (s)	-926.17	-820.2	137.2
Cl <sub>2</sub> (g)	0	0	223.0
Cl <sup>-</sup> (ac)	-167.2	-131.2	56.5
HCl(g)	-92.3	-95.27	187.0
Co(s)	0	0	28.45
Co <sup>2+</sup> (ac)	-67.36	-51.46	155.2
CoO(s)	-239.3	-213.38	43.9
Cr(s)	0	0	23.77
Cr <sup>2+</sup> (ac)	-138.9		
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-1128.4	-1046.8	81.17
CrO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-863.16	-706.26	38.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-1460.6	-1257.29	213.8
Cs(s)	0	0	82.8
Cs <sup>+</sup> (ac)	-247.69	-282.0	133.05
Cu(s)	0	0	33.3
Cu <sup>+</sup> (ac)	51.88	50.2	-26.4
Cu <sup>2+</sup> (ac)	64.39	64.98	-99.6
CuO(s)	-155.2	-127.2	43.5
Cu <sub>2</sub> O(s)	-166.69	-146.36	100.8
CuCl(s)	-134.7	-118.8	91.6
CuCl <sub>2</sub> (s)	-205.85	?	?
CuS(s)	-48.5	-49.0	66.5
CuSO <sub>4</sub> (s)	-769.86	-661.9	113.39
F <sub>2</sub> (g)	0	0	203.34
F <sup>-</sup> (ac)	-329.1	-276.48	-9.6
HF(g)	-271.6	-270.7	173.5
Fe(s)	0	0	27.2
Fe <sup>2+</sup> (ac)	-87.86	-84.9	-113.39

Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (J/K · mol)
Fe <sup>3+</sup> (ac)	-47.7	-10.5	-293.3
FeO(s)	-272.0	-255.2	60.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (s)	-822.2	-741.0	90.0
Fe(OH) <sub>2</sub> (s)	-568.19	-483.55	79.5
Fe(OH) <sub>3</sub> (s)	-824.25	?	?
H(g)	218.2	203.2	114.6
H <sub>2</sub> (g)	0	0	131.0
H <sup>+</sup> (ac)	0	0	0
OH <sup>-</sup> (ac)	-229.94	-157.30	-10.5
H <sub>2</sub> O(g)	-241.8	-228.6	188.7
H <sub>2</sub> O(l)	-285.8	-237.2	69.9
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (l)	-187.6	-118.1	?
Hg(l)	0	0	77.4
Hg <sup>2+</sup> (ac)		-164.38	
HgO(s)	-90.7	-58.5	72.0
HgCl <sub>2</sub> (s)	-230.1		
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (s)	-264.9	-210.66	196.2
HgS(s)	-58.16	-48.8	77.8
HgSO <sub>4</sub> (s)	-704.17		
Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-741.99	-623.92	200.75
I <sub>2</sub> (s)	0	0	116.7
I <sup>-</sup> (ac)	-55.9	-51.67	109.37
HI(g)	25.9	1.30	206.3
K(s)	0	0	63.6
K <sup>+</sup> (ac)	-251.2	-282.28	102.5
KOH(s)	-425.85		
KCl(s)	-435.87	-408.3	82.68
KClO <sub>3</sub> (s)	-391.20	-289.9	142.97
KClO <sub>4</sub> (s)	-433.46	-304.18	151.0
KBr(s)	-392.17	-379.2	96.4
KI(s)	-327.65	-322.29	104.35
KNO <sub>3</sub> (s)	-492.7	-393.1	132.9
Li(s)	0	0	28.0
Li <sup>+</sup> (ac)	-278.46	-293.8	14.2
Li <sub>2</sub> O(s)	-595.8	?	?
LiOH(s)	-487.2	-443.9	50.2
Mg(s)	0	0	32.5
Mg <sup>2+</sup> (ac)	-461.96	-456.0	-117.99
MgO(s)	-601.8	-569.6	26.78
Mg(OH) <sub>2</sub> (s)	-924.66	-833.75	63.1
MgCl <sub>2</sub> (s)	-641.8	-592.3	89.5
MgSO <sub>4</sub> (s)	-1278.2	-1173.6	91.6
MgCO <sub>3</sub> (s)	-1112.9	-1029.3	65.69
Mn(s)	0	0	31.76
Mn <sup>2+</sup> (ac)	-218.8	-223.4	-83.68
MnO <sub>2</sub> (s)	-520.9	-466.1	53.1
N <sub>2</sub> (g)	0	0	191.5
N <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	245.18	?	?

Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (J/K · mol)
NH <sub>3</sub> (g)	-46.3	-16.6	193.0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (ac)	-132.80	-79.5	112.8
NH <sub>4</sub> Cl(s)	-315.39	-203.89	94.56
NH <sub>3</sub> (ac)	-80.3	-26.5	111.3
N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (l)	50.4		
NO(g)	90.4	86.7	210.6
NO <sub>2</sub> (g)	33.85	51.8	240.46
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (g)	9.66	98.29	304.3
N <sub>2</sub> O(g)	81.56	103.6	219.99
HNO <sub>2</sub> (ac)	-118.8	-53.6	
HNO <sub>3</sub> (l)	-173.2	-79.9	155.6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	-206.57	-110.5	146.4
Na(s)	0	0	51.05
Na <sup>+</sup> (ac)	-239.66	-261.87	60.25
Na <sub>2</sub> O(s)	-415.9	-376.56	72.8
NaCl(s)	-411.0	-384.0	72.38
NaI(s)	-288.0		
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (s)	-1384.49	-1266.8	149.49
NaNO <sub>3</sub> (s)	-466.68	-365.89	116.3
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (s)	-1130.9	-1047.67	135.98
NaHCO <sub>3</sub> (s)	-947.68	-851.86	102.09
Ni(s)	0	0	30.1
Ni <sup>2+</sup> (ac)	-64.0	-46.4	-159.4
NiO(s)	-244.35	-216.3	38.58
Ni(OH) <sub>2</sub> (s)	-538.06	-453.1	79.5
O(g)	249.4	230.1	160.95
O <sub>2</sub> (g)	0	0	205.0
O <sub>3</sub> (ac)	-12.09	16.3	110.88
O <sub>3</sub> (g)	142.2	163.4	237.6
P(blanco)	0	0	44.0
P(rojo)	-18.4	13.8	29.3
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (ac)	-1284.07	-1025.59	-217.57
P <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (s)	-3012.48		
PH <sub>3</sub> (g)	9.25	18.2	210.0
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-1298.7	-1094.1	-35.98
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ac)	-1302.48	-1135.1	89.1
Pb(s)	0	0	64.89
Pb <sup>2+</sup> (ac)	1.6	-24.3	21.3
PbO(s)	-217.86	-188.49	69.45
PbO <sub>2</sub> (s)	-276.65	-218.99	76.57
PbCl <sub>2</sub> (s)	-359.2	-313.97	136.4
PbS(s)	-94.3	-92.68	91.2
PbSO <sub>4</sub> (s)	-918.4	-811.2	147.28
Pt(s)	0	0	41.84
PtCl <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-516.3	-384.5	175.7
Rb(s)	0	0	69.45
Rb <sup>+</sup> (ac)	-246.4	-282.2	124.27
S(rómbico)	0	0	31.88

Sustancia	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (J/K · mol)
S(monoclínico)	0.30	0.10	32.55
SO <sub>2</sub> (g)	-296.4	-300.4	248.5
SO <sub>3</sub> (g)	-395.2	-370.4	256.2
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-624.25	-497.06	43.5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (ac)	-907.5	-741.99	17.15
H <sub>2</sub> S(g)	-20.15	-33.0	205.64
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ac)	-627.98	-527.3	132.38
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ac)	-885.75	-752.87	126.86
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (l)	-811.3	?	?
SF <sub>6</sub> (g)	-1096.2	?	?
Si(s)	0	0	18.70
SiO <sub>2</sub> (s)	-859.3	-805.0	41.84
Sr(s)	0	0	54.39
Sr <sup>2+</sup> (ac)	-545.5	-557.3	-39.33
SrCl <sub>2</sub> (s)	-828.4	-781.15	117.15
SrSO <sub>4</sub> (s)	-1444.74	-1334.28	121.75
SrCO <sub>3</sub> (s)	-1218.38	-1137.6	97.07
Zn(s)	0	0	41.6
Zn <sup>2+</sup> (ac)	-152.4	-147.2	-106.48
ZnO(s)	-348.0	-318.2	43.9
ZnCl <sub>2</sub> (s)	-415.89	-369.26	108.37
ZnS(s)	-202.9	-198.3	57.7
ZnSO <sub>4</sub> (s)	-978.6	-871.6	124.7

**Sustancias orgánicas**

Sustancia	Fórmula	$\Delta H_f^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta G_f^\circ$ (kJ/mol)	$S^\circ$ (J/K · mol)
Acetaldehído (g)	CH <sub>3</sub> CHO	-166.35	-139.08	264.2
Acetileno (g)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	226.6	209.2	200.8
Acetona (l)	CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub>	-246.8	-153.55	198.7
Ácido acético (l)	CH <sub>3</sub> COOH	-484.2	-389.45	159.8
Ácido fórmico (l)	HCOOH	-409.2	-346.0	129.0
Benceno (l)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	49.04	124.5	172.8
Butano (g)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-124.7	-15.7	310.0
Etano (g)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	-84.7	-32.89	229.5
Etanol (l)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-276.98	-174.18	161.0
Etileno (g)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	52.3	68.1	219.5
Glucosa (s)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-1274.5	-910.56	212.1
Metano (g)	CH <sub>4</sub>	-74.85	-50.8	186.2
Metanol (l)	CH <sub>3</sub> OH	-238.7	-166.3	126.8
Propano (g)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-103.9	-23.5	269.9
Sacarosa (s)	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	-2221.7	-1544.3	360.2