

14

LA INDUSTRIA QUÍMICA, LA TECNOLOGÍA, LA SOCIEDAD Y EL MEDIO AMBIENTE

SOLUCIONES A LAS ACTIVIDADES DE FINAL DE UNIDAD

Procesos químicos en la industria

1. ¿Cuáles son las principales materias primas de la industria química?

Gases que componen el aire, el agua, algunos minerales y metales nativos.

2. La aplicación de un proceso de laboratorio a la industria requiere tener en cuenta una serie de hechos. Expón cuatro de ellos que se consideren relevantes.

Entre otros, podemos señalar:

- a) El coste de la materia prima y su transporte.
- b) Los procesos previos a su transformación química.
- c) Los recursos humanos.
- d) La gestión de los residuos y la emisión de contaminantes.

3. ¿Qué diferencia hay entre un proceso químico industrial y uno que se lleva a cabo en el laboratorio?

Existen marcadas diferencias entre un proceso de laboratorio y uno industrial. Los más relevantes son:

- Las condiciones de reacción, especialmente temperatura, presión y el uso de catalizadores.
- Las cantidades a utilizar; unos gramos en el laboratorio y toneladas en la industria.
- El coste de los reactivos es fundamental en la industria, por las cantidades que manejan, y, sin embargo, es un aspecto poco relevante, en general, en el laboratorio.

4. Describe con detalle las etapas de puesta en marcha de una de estas industrias, de acuerdo con las 7 etapas descritas en el texto.

Consúltese el libro de texto.

5. ¿Por qué en la industria química es tan importante el uso de catalizadores?

Un aspecto de especial relevancia en la industria es el tiempo en el que se desarrolla el proceso, ya que permite hacer rentable el producto. De ahí la necesidad de emplear catalizadores, que, como sabemos, aumentan la velocidad de la reacción.

Sustancias de especial interés

6. Nombra cuatro sustancias que presenten especial interés en la industria, indicando los procesos químicos que permiten obtenerlas.

Cuatro sustancias de especial relevancia son: ácido sulfúrico, amoníaco, ácido nítrico y cloro.

Los procesos para obtenerlas son:

Ácido sulfúrico. Método de contacto, que consta de tres etapas:

1ª) Obtención de SO_2 por combustión de azufre o tostación de sulfuros.

2ª) Oxidación catalítica del SO_2 a SO_3 .

3ª) Absorción del SO_3 en ácido sulfúrico concentrado.

Amoníaco. Síntesis directa a partir de sus elementos siguiendo el método Haber.

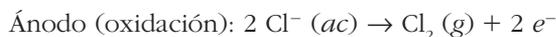
Ácido nítrico. Método Ostwald, que consta de tres etapas:

1ª) Oxidación catalítica del amoníaco a óxido nítrico.

2ª) Oxidación del óxido nítrico a dióxido de nitrógeno.

3ª) Reacción del dióxido de nitrógeno con agua caliente para dar ácido nítrico.

Cloro. Electrólisis de cloruro de sodio disuelto en agua:

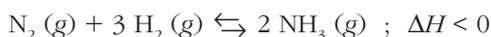


7. Comenta la posibilidad de que una industria tenga dos instalaciones contiguas: una instalación dedicada a producir amoníaco y otra a producir ácido nítrico.

No sería una situación óptima, ya que el amoníaco es el punto de partida para la obtención del ácido nítrico. Deberían estar en una única instalación para, así, reducir costes.

8. Indica las condiciones de presión y temperatura a las que se trabaja en la industria para obtener amoníaco.

La síntesis del amoníaco, a partir de sus elementos, es una reacción exotérmica descrita por:



El principio de Le Châtelier nos indica que debería trabajarse a altas presiones y bajas temperaturas. Sin embargo, este último aspecto conlleva una velocidad de formación del producto muy baja. Por eso, hay que llegar a una situación de “compromiso” entre los aspectos termodinámicos, que requieren bajas temperaturas, y los cinéticos, favorecidos por altas temperaturas.

La solución es el uso de catalizadores y temperaturas razonablemente altas: 400-600 °C.

9. La siguiente tabla nos da el porcentaje de conversión en amoníaco de una mezcla de N_2 e H_2 , según las condiciones de presión y temperatura:

P (atm) \ T (°C)	25	50	100	200	400
100	92	95	97	98	99
200	64	74	82	89	95
300	27	40	53	67	80
400	9	15	25	39	55
500	3	6	11	18	32

Predice cuál será el rendimiento máximo de obtención de amoníaco en las condiciones en las que trabaja la industria.

La industria trabaja a presiones entre 150 y 300 atm y temperaturas en el intervalo de 400-600 °C. En estas condiciones, es previsible un rendimiento máximo del 45%, $t = 400$ °C y $p = 300$ atm.

10. Sabiendo que la entalpía de formación estándar del amoníaco es $-46,2$ kJ/mol, calcula la energía desprendida al sintetizarse 1 g de esta sustancia.

La reacción es:



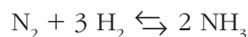
Por tanto, será:

$$\frac{1 \text{ mol } NH_3}{46,2 \text{ kJ}} = \frac{17 \text{ g } NH_3}{46,2 \text{ kJ}} = \frac{1 \text{ g}}{x} ; x = 2,72 \text{ kJ}$$

11. Un reactor de síntesis de amoníaco debe producir al día 500 t de dicha sustancia. Suponiendo que el nitrógeno se obtiene del aire, calcula el volumen de aire necesario.

Dato: composición volumétrica del aire: 78% de N_2 .

El amoníaco se obtiene según la ecuación:



Las 500 t ($5 \cdot 10^8$ g) de NH_3 equivalen en moles a:

$$\frac{5 \cdot 10^8 \text{ g}}{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 2,94 \cdot 10^7 \text{ mol } NH_3$$

Que, según la ecuación ajustada, necesitará:

$$\frac{2,94 \cdot 10^7 \text{ mol}}{2} = 1,47 \cdot 10^7 \text{ mol } N_2$$

Suponiendo unas condiciones normales, dato que debería haber recogido el enunciado, el volumen será:

$$1,47 \cdot 10^7 \text{ mol} \times \frac{22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} = 3,29 \cdot 10^8 \text{ L N}_2$$

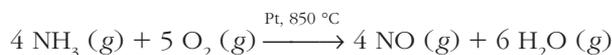
Teniendo en cuenta la composición volumétrica del aire, tendremos:

$$\frac{78 \text{ L N}_2}{100 \text{ L aire}} = \frac{3,29 \cdot 10^8}{V} ; V = 4,22 \cdot 10^8 \text{ L de aire}$$

12. Describe, mediante las correspondientes ecuaciones químicas, las tres etapas básicas de obtención del ácido nítrico.

Las tres etapas básicas para obtener HNO₃ siguiendo el método Ostwald son:

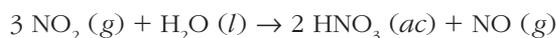
1ª) Oxidación del NH₃ a NO:



2ª) Oxidación del NO a NO₂:



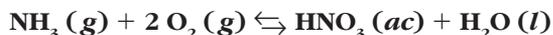
3ª) Reacción del NO₂ con H₂O:



13. En el método Ostwald de obtención del ácido nítrico se sabe que la oxidación del óxido nítrico a dióxido de nitrógeno es un proceso exotérmico. Justifica si el proceso debe llevarse a cabo a alta o a baja temperatura.

Si el proceso es exotérmico, el principio de Le Châtelier indica que la reacción de formación del NO₂ debería llevarse a cabo a baja temperatura; así, se aumentaría el rendimiento. Otro aspecto a tener en cuenta sería que, en esas condiciones, la velocidad de formación sería muy lenta.

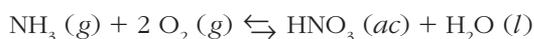
14. El ácido nítrico se obtiene mediante la reacción:



Calcula la masa de ácido nítrico que puede obtenerse a partir de 1 t de amoníaco si el rendimiento de la reacción es del 75%. ¿Qué volumen de aire será necesario?

Dato: composición volumétrica de oxígeno en el aire: 21% de O₂

La ecuación ajustada es:



y nos indica que si el rendimiento fuese del 100%, cada mol de NH₃ originaría la misma cantidad de HNO₃; pero, al ser del 75%, de HNO₃ se formará:

$$\frac{10^6 \text{ g NH}_3}{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times \frac{75}{100} = 4,41 \cdot 10^4 \text{ mol HNO}_3$$

Por otro lado, cada mol de NH_3 necesitará doble cantidad de O_2 ; por tanto, serán necesarios:

$$\frac{10^6 \text{ g NH}_3}{17 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times \frac{2 \text{ mol O}_2}{1 \text{ mol NH}_3} = 1,18 \cdot 10^5 \text{ mol O}_2$$

Puesto que el enunciado no indica las condiciones de presión y temperatura, supondremos condiciones normales. Por tanto, el volumen de O_2 será:

$$1,18 \cdot 10^5 \text{ mol} \times \frac{22,4 \text{ L}}{1 \text{ mol}} = 2,64 \cdot 10^6 \text{ L O}_2$$

Que, teniendo en cuenta la composición volumétrica del aire, requerirán:

$$\frac{21 \text{ L O}_2}{100 \text{ L aire}} = \frac{2,64 \cdot 10^6}{V} ; V = 1,26 \cdot 10^7 \text{ L aire}$$

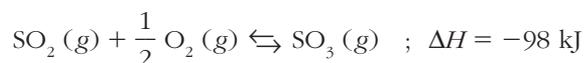
15. Conociendo la entalpía de la reacción:



$$\Delta H = -98 \text{ kJ/mol}$$

Indica cómo influyen en el proceso la variación de la presión y de la temperatura.

El equilibrio:

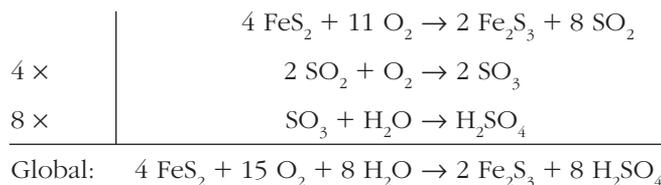


es un proceso exotérmico que transcurre con disminución en el número de moles o de moléculas.

Por tanto, si queremos aumentar el rendimiento en la formación de productos, el proceso debe tener lugar a bajas temperaturas y altas presiones (principio de Le Châtelier). Si, por el contrario, lo que interesa son los reactivos, deberemos trabajar a altas temperaturas y bajas presiones.

16. Calcula la cantidad de ácido sulfúrico que se puede conseguir en el proceso industrial de obtención de esta sustancia a partir de una tonelada de pirita (que tiene un 75% de FeS_2), si el rendimiento del proceso global es del 80%.

Las etapas de obtención del ácido sulfúrico por el método de contacto partiendo de pirita son:



La ecuación global ajustada nos indica que de H_2SO_4 se obtiene doble cantidad (en moles) que la que hubiese de FeS_2 . De pirita pura hay:

$$10^6 \text{ g} \times \frac{75}{100} = 7,5 \cdot 10^5 \text{ g}$$

que equivalen a:

$$7,5 \cdot 10^5 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{119,85 \text{ g}} = 6258 \text{ moles FeS}_2$$

Si el rendimiento fuese del 100%, se obtendrían:

$$6258 \text{ mol FeS}_2 \times \frac{2 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ mol FeS}_2} = 12516 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

pero como solo es del 80%, se formarán:

$$12516 \times \frac{80}{100} = 10013 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$$

Si queremos expresarlo en masa, será:

$$10013 \times \frac{98 \text{ g}}{1 \text{ mol}} = 981,3 \text{ kg H}_2\text{SO}_4$$

17. Expón brevemente cómo se produce el cloro en la industria.

Se obtiene por electrólisis de una disolución acuosa de cloruro de sodio. (Además, en el cátodo se produce hidróxido de sodio).

La reacción es:



18. En el laboratorio, el cloro se puede obtener fácilmente por reacción entre el ácido clorhídrico y el dióxido de manganeso según la reacción:



a) Ajusta la reacción por el método del ion-electrón.

b) Calcula el volumen de cloro que se desprenderá si las condiciones de reacción son 15 °C y 720 mmHg, cuando reaccionen 10 g de MnO₂ con la cantidad suficiente de HCl.

c) ¿Por qué en la industria no se sigue este método de obtención?

a) La reacción sin ajustar es:



La especie oxidante es el dióxido de manganeso, y la reductora, los iones cloruro que suministra el HCl. Tenemos:



La ecuación molecular ajustada es:



b) Como la masa molar del MnO₂ es 86,94 g/mol, los 10 g equivalen a:

$$10 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{86,94 \text{ g}} = 0,12 \text{ mol MnO}_2$$

que, según la ecuación molecular ajustada, proporcionarán igual cantidad de Cl_2 . Suponiendo un comportamiento ideal, 0,12 moles de Cl_2 ocupan un volumen de:

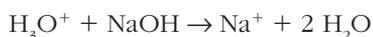
$$\frac{720}{760} \text{ atm} \times V \text{ L} = 0,12 \text{ mol} \times 0,082 \text{ atm} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times (273 + 15) \text{ K}$$

de donde: $V = 3 \text{ L}$ de Cl_2

c) Principalmente porque las materias primas son más caras (y difíciles de manejar ya que hay un ácido) que si utilizamos NaCl (su electrólisis conduce a Cl_2).

19. Una planta química produce al día 50 000 L de aguas residuales con pH = 2. ¿Qué masa de hidróxido de sodio es necesaria para neutralizar dicha cantidad de agua?

La reacción de neutralización sería:



Si el agua residual tiene $\text{pH} = 2$, será: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$; $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2} \text{ M}$

Es decir, cada litro de agua residual contiene 0,01 mol de iones H_3O^+ , luego:

$$0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 50\,000 \text{ L} = 500 \text{ mol } \text{H}_3\text{O}^+$$

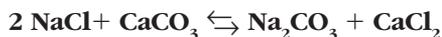
que, según la ecuación ajustada, necesitarán igual cantidad de NaOH . Como la masa molar de NaOH es 40 g/mol, tendremos:

$$500 \text{ mol } \text{NaOH} \times 40 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 20\,000 \text{ g (20 kg) } \text{NaOH}$$

20. El método Solvay, para obtener sosa, se suele poner como ejemplo de proceso industrial económico. ¿A qué crees que es debido?

A que las etapas de reciclado permiten reutilizar todos los subproductos que se van formando en cada una de las etapas anteriores.

21. El proceso global del método Solvay queda reflejado en la siguiente ecuación química:



Suponiendo un rendimiento del 35%, calcula la masa de cloruro de sodio necesaria para obtener 1 t de carbonato sódico.

La ecuación ajustada es:



y nos indica que cada mol de Na_2CO_3 necesita doble cantidad de NaCl . Como la masa molar del carbonato de sodio es 106 g/mol, 1 t equivale a:

$$10^6 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{106 \text{ g}} = 9\,434 \text{ mol}$$

Si el rendimiento fuese del 100%, esta cantidad obligaría a utilizar $9\,434 \times 2 = 18\,868$ mol de NaCl , pero como el rendimiento es del 35%, hace falta “poner” más:

$$\frac{100 \text{ mol}}{35 \text{ mol}} = \frac{x}{18\,868 \text{ mol}} ; x = 53\,909 \text{ mol } \text{NaCl}$$

Dicha cantidad equivale en gramos a:

$$53\,909 \text{ mol} \times 58,45 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 3\,150\,981 \text{ g}$$

o bien, 3 151 kg.

22. Indica las etapas de tratamiento del petróleo y explica, brevemente, en qué consiste cada una de ellas.

Las etapas son: *a)* fraccionamiento, *b)* craqueo, *c)* craqueo catalítico y *d)* refino. Consúltese el libro de texto para ver en qué consiste cada una.

Procesos tecnológicos

23. Expón brevemente la diferencia entre metalurgia y siderurgia.

La metalurgia es la ciencia de la extracción de los metales a partir de sus minerales. Si el metal que se desea obtener es hierro, la ciencia se denomina siderurgia.

24. Define brevemente los siguientes conceptos: a) mena; b) ganga; c) tostación; d) calcinación; e) aluminotermia.

a) Mena: Mineral cuya concentración en el metal deseado es suficiente para que su extracción sea rentable.

b) Ganga: Parte de la mena que no tiene interés.

c) Tostación: Proceso químico que consiste en calentar un mineral para convertirlo en óxido.

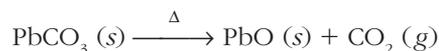
d) Calcinación. Proceso químico mediante el cual, y por calefacción intensa, se descomponen algunos minerales, generalmente carbonato.

e) Aluminotermia: Es un proceso de reducción donde el reductor es aluminio.

25. La cerusita es un mineral formado por carbonato de plomo (II). Escribe las reacciones correspondientes de calcinación y reducción que permiten obtener el metal puro. Calcula la masa de cerusita, al 45% de riqueza en carbonato, necesaria para conseguir 500 kg de plomo, si el rendimiento del proceso es del 60%.

Etapas:

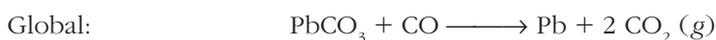
a) Calcinación:



b) Reducción:



que podemos sintetizar en:



Como la masa molar del Pb es 207,2 g/mol, los 500 kg ($500 \cdot 10^3$ g) equivalen a:

$$500 \cdot 10^3 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{207,2 \text{ g}} = 2413 \text{ mol Pb}$$

que, si el rendimiento fuese del 100%, requerirán igual cantidad de PbCO_3 . Como el rendimiento es menor, hace falta más cantidad de carbonato. En concreto:

$$\frac{100 \text{ mol}}{60 \text{ mol}} = \frac{x}{2413 \text{ mol}} ; x = 4022 \text{ mol PbCO}_3$$

En masa, esta cantidad equivale a:

$$4022 \text{ mol} \times 267,2 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1,075 \cdot 10^6 \text{ g PbCO}_3$$

Pero como la cerusita solo tiene un 45% de riqueza en carbonato, se necesitará:

$$\frac{100 \text{ g mineral}}{45 \text{ g PbCO}_3} = \frac{y}{1,075 \cdot 10^6} ; y = 2,39 \cdot 10^6 \text{ g cerusita}$$

26. Define brevemente los siguientes conceptos: a) polímero de condensación; b) homopolímero; c) copolímero; d) polimerización por reacción en cadena; e) elastómero; f) vulcanización.

- a) *Polímero de condensación*: Es aquel que resulta de ir incorporando a la cadena principal nuevos monómeros, y eliminando en cada paso una molécula más pequeña, generalmente agua.
- b) *Homopolímero*: Polímero formado por un solo tipo de monómero.
- c) *Copolímero*: Polímero formado por más de un tipo de monómero.
- d) *Polimerización por reacción en cadena*: Es un mecanismo que tiene lugar en la polimerización de adición que suele contar de tres etapas: iniciación, propagación de la cadena y terminación.
- e) *Elastómero*: Polímero capaz de deformarse y recuperar su forma inicial.
- f) *Vulcanización*: Proceso por el cual se añade azufre a las cadenas poliméricas del caucho, mejorando así algunas de sus propiedades físicas.

27. Los suelos de plástico suelen estar hechos de un copolímero de acetato de vinilo y cloruro de vinilo. Escribe la reacción del proceso.

La reacción de polimerización es:

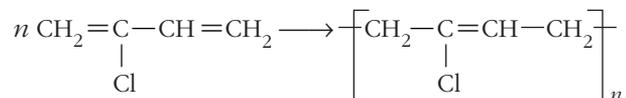


28. El teflón, nombre comercial del politetrafluoroetileno, es un polímero utilizado como revestimiento antiadherente en utensilios de cocina. Escribe la reacción de polimerización a partir de su monómero, el 1,1,2,2-tetrafluoroeteno.



29. Escribe la reacción de formación del polímero de adición del 2-cloro-1,3-butadieno.

La reacción de polimerización es:



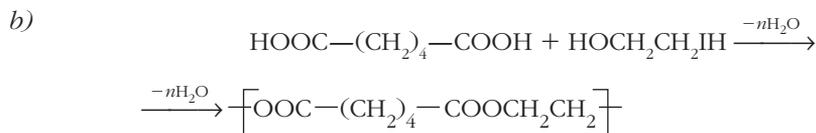
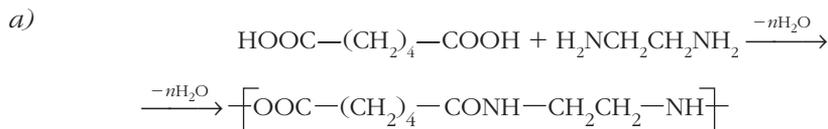
30. Indica la diferencia entre un poliéster y una poliamida. ¿Son polímeros de adición o de condensación?

Ambos son polímeros de condensación. Pero un poliéster se obtiene a partir de un ácido y un alcohol; y la poliamida, a partir de un ácido y una amina.

31. Escribe la estructura del polímero resultante que se obtiene a partir de:

a) ácido hexanodioico + 1,2-etanodiamina

b) ácido hexanodioico + 1,2-etanodiol



Industria química y medio ambiente

32. Los óxidos de nitrógeno, denominados genéricamente como NO_x, son agentes contaminantes. Menciona en qué procesos de los estudiados se emite alguno de estos gases.

En primer lugar, en las combustiones. Como en estos procesos se utiliza aire en lugar de oxígeno puro, entre otros productos se forma óxido nítrico, NO, que posteriormente se oxida a dióxido de nitrógeno, NO₂.

Además, el NO se forma en el método Ostwald de fabricación de ácido nítrico, aunque es una sustancia que se reutiliza, por lo que, en principio, no se emite a la atmósfera.

33. ¿Qué es el desarrollo sostenible? ¿Por qué se ha planteado en esta época histórica?

Es el desarrollo que tiene en cuenta las necesidades actuales de la sociedad, pero sin comprometer las necesidades de las generaciones venideras.

Este concepto, propio de nuestra época, surge porque el desarrollo tecnológico e industrial de nuestra sociedad está sobreexplotando los recursos naturales de los que disponemos. De aquí la necesidad de llegar a un equilibrio entre el desarrollo y el mantenimiento de los recursos (y del medio ambiente).

34. Explica brevemente en qué consiste el efecto invernadero. ¿Qué gases lo producen? ¿Qué es el efecto invernadero anómalo o realzado?

La atmósfera, entre otros efectos, es la responsable del mantenimiento de una temperatura moderada y estable en la superficie del planeta. Para ello, una serie de gases, principalmente dióxido de carbono y vapor de agua, retienen parte de la energía que nos llega del Sol en forma de radiación. Estos gases actúan igual que un invernadero, permitiendo el paso de radiación IR de onda corta y emitiendo radiación IR de onda larga.

La diferencia de energía se invierte en calentar el invernadero o, en nuestro caso, la superficie de la Tierra.

Este es el llamado **efecto invernadero natural**, imprescindible para la vida.

Sin embargo, un exceso de CO₂ en la atmósfera, hace que se “retenga” demasiada radiación con el consiguiente aumento de la temperatura, claramente perjudicial. Sería el **efecto invernadero anómalo**.

35. Documentate sobre el origen del ozono troposférico.

La **troposfera** es la parte de la atmósfera más cercana a la superficie de la Tierra, y, por tanto, donde tienen lugar todos los procesos vitales.

Entonces, y de una forma muy resumida, podemos decir que el ozono, al ser un gas relativamente tóxico, es un contaminante en dicha zona.

El ozono no es un gas que se emita directamente por un determinado foco contaminante, sino que se forma a partir de otros contaminantes (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos) en presencia de radiación solar, por intrusiones del ozono estratosférico o por las descargas eléctricas de una tormenta.

36. a) Explica en qué consiste el fenómeno denominado lluvia ácida. b) ¿Un agua de lluvia con pH ligeramente ácido, por ejemplo, 6,0, se considera que es ácida? ¿Por qué?

a) Fenómeno por el cual la presencia de óxidos de azufre y de nitrógeno en el agua de lluvia originan que esta tenga un pH inferior a su valor natural (del orden de 5,5-6).

b) No. La razón es que en la atmósfera hay CO₂, un gas con características ácidas, y que al encontrarse de forma natural en el agua de lluvia, hace que esta tenga un pH ligeramente inferior a 7.

37. El ozono es considerado un contaminante en el aire que respiramos y se forma según la ecuación:



Indica cuáles deben ser las condiciones de presión y temperatura para minimizar la formación de este compuesto.

El equilibrio:



es un proceso que transcurre en fase gaseosa, con una disminución en el número de moles (o de moléculas) y que necesita calor (es endotérmico).

Por tanto, y según el principio de Le Châtelier, el proceso inverso, que sería el “favorable” en este caso, tendrá lugar a bajas temperaturas y si disminuimos la presión.

38. Busca en la bibliografía qué son las dioxinas, cómo se generan y qué efectos nocivos tienen.

Brevemente, podemos decir que las **dioxinas** son compuestos aromáticos con átomos de cloro incorporados a los anillos bencénicos (sustitución de H por Cl).

Las dioxinas constituyen un contaminante ambiental que se produce en algunas industrias cuando tienen lugar actividades de combustión.

También se origina en los procesos de reciclado a altas temperaturas de algunos plásticos.

Aunque sus efectos sobre la salud de los seres humanos no están muy desarrollados, las dioxinas son sustancias altamente tóxicas que pueden provocar numerosos efectos sobre el organismo: alteraciones cutáneas, cefaleas intensas, y numerosos trastornos enzimáticos y neurológicos.

39. El CO₂ se descompone según la ecuación:



¿Sería un buen método para obtener oxígeno y, además, eliminar el exceso de CO₂ de la atmósfera? ¿Por qué?

No, porque se formaría también monóxido de carbono, CO, gas muy tóxico.