# Química

PAU Andalucía, Ceuta, Melilla y Centros en Marruecos

**Julio 2024 · Resolución completa**

Resolución paso a paso con explicaciones didácticas · *estudiante.plus*

**Estructura del examen:** Bloque A (Formulación, 1,5 puntos: elegir 1 de 2 preguntas); Bloque B (Cuestiones, 4,5 puntos: elegir 3 de 6 cuestiones, cada una con 3 apartados); Bloque C (Problemas, 4 puntos: elegir 2 de 4 problemas, cada uno con 2 apartados). En esta resolución se resuelven **todas las opciones** de cada bloque para ofrecer una cobertura completa.

# BLOQUE A · PREGUNTA A1 (1,5 puntos)

Formule o nombre los siguientes compuestos:

**a)** Sulfuro de plomo(II); **b)** Hidróxido de berilio; **c)** Etanoato de metilo; **d)** $TiF_4$; **e)** $Ni_3(PO_4)_2$; **f)** $CH_3-CH_2-CH_2-NH_2$

## Resolución

### a) Sulfuro de plomo(II)

$Pb^{2+}$ con $S^{2-}$: ambas valencias son 2, se simplifica a proporción 1:1.

✓ PbS

### b) Hidróxido de berilio

$Be^{2+}$ con 2 grupos $OH^-$.

✓ $Be(OH)_2$

### c) Etanoato de metilo

Éster del ácido etanoico (acético) con metanol.

✓ $CH_3COOCH_3$

### d) $TiF_4$

El titanio presenta valencia +4 (se combina con 4 fluoruros de carga −1).

✓ **Fluoruro de titanio(IV)**

### e) $Ni_3(PO_4)_2$

El anión fosfato $PO_4^{3-}$ se combina con Ni: para neutralizar $2 \times (-3) = -6$ se necesitan 3 cationes $Ni^{2+}$ ($3 \times 2 = 6$).

✓ **Fosfato de níquel(II)**

### f) $CH_3-CH_2-CH_2-NH_2$

Cadena de 3 carbonos con el grupo amino en el carbono 1.

✓ **Propan-1-amina**

⇒ **Error común:** No comprobar que las cargas se simplifican a la mínima proporción entera (por ejemplo, en PbS: 2:2 → 1:1).

# BLOQUE A · PREGUNTA A2 (1,5 puntos)

Formule o nombre los siguientes compuestos:

**a)** Peróxido de hidrógeno; **b)** Arsenato de hierro(III); **c)** 2,2,4-trimetilpentano; **d)** $O_3I_2$; **e)** $Cr(OH)_3$; **f)** $CH_3-CH_2-CHO$

## Resolución

### a) Peróxido de hidrógeno

Contiene el grupo peróxido $O_2^{2-}$ completo, no un óxido simple.

✓ $H_2O_2$

### b) Arsenato de hierro(III)

$Fe^{3+}$ con el anión arseniato $AsO_4^{3-}$: cargas iguales, se simplifica a 1:1.

✓ $FeAsO_4$

### c) 2,2,4-trimetilpentano

Cadena principal de 5 carbonos (pentano) con tres grupos metilo en las posiciones 2, 2 y 4. Es el compuesto conocido como isooctano.

✓ $CH_3-C(CH_3)_2-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$

### d) $O_3I_2$

Compuesto binario de oxígeno con un halógeno. Según las normas IUPAC actuales, en estos compuestos se escribe primero el oxígeno y se nombran como haluros de oxígeno: 2 átomos de yodo y 3 de oxígeno (el yodo actúa con estado de oxidación +3).

✓ **Diyoduro de trioxígeno**

### e) $Cr(OH)_3$

El cromo presenta valencia +3.

✓ **Hidróxido de cromo(III)**

### f) $CH_3-CH_2-CHO$

Aldéhido de 3 carbonos.

✓ **Propanal**

⇒ **Error común:** Escribir el peróxido de hidrógeno como HO en lugar de $H_2O_2$, olvidando que el peróxido incorpora el grupo $O_2^{2-}$ completo.

# BLOQUE B · CUESTIÓN B1 (1,5 puntos)

Dados los elementos $A$, $B$ y $C$, con números atómicos: $A$ ($Z = 11$), $B$ ($Z = 16$), $C$ ($Z = 37$).

**a)** [0,5 puntos] ¿Cuál será el número de oxidación más probable para los elementos $A$ y $B$? Razónelo en base a su configuración electrónica.

**b)** [0,5 puntos] Indique, razonadamente, si $(4, 0, 0, +\frac{1}{2})$ puede ser un conjunto de números cuánticos válido para el electrón más externo del elemento $C$.

**c)** [0,5 puntos] Ordene, razonadamente, de menor a mayor radio atómico los elementos $A$, $B$ y $C$.

## Resolución

$A$ ($Z = 11$) es el sodio: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$. $B$ ($Z = 16$) es el azufre: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$. $C$ ($Z = 37$) es el rubidio: $[\text{Kr}]5s^1$.

### a) Número de oxidación más probable

El sodio pierde fácilmente su único electrón de valencia para alcanzar la configuración del Ne (gas noble); el azufre gana fácilmente 2 electrones para completar el octeto como el Ar.

✓ $A$ **(Na): +1.** $B$ **(S): −2.**

### b) ¿Es válido $(4, 0, 0, +\frac{1}{2})$?

El electrón más externo de $C$ (Rb) ocupa el orbital $5s$, es decir $n = 5$. El conjunto dado tiene $n = 4$, que correspondería a un electrón del çoreïnterno ($4s$), ya ocupado, no al electrón de valencia.

✓ **No es válido para el electrón más externo de $C$: debería ser $n = 5$, no $n = 4$.**

### c) Orden de radio atómico

Dentro de un mismo periodo (el 3º), el radio disminuye de izquierda a derecha: S < Na. Dentro de un mismo grupo (el 1), el radio aumenta al bajar: Rb > Na.

✓ **Orden creciente: S < Na < Rb**

⇒ **Error común:** Aceptar un conjunto de números cuánticos como válido solo porque es una combinación físicamente posible, sin comprobar que corresponde realmente al electrón de valencia del átomo en cuestión.

# BLOQUE B · CUESTIÓN B2 (1,5 puntos)

El bromuro de amonio es un sólido cristalino que se descompone en un proceso endotérmico según el siguiente equilibrio:

$$NH_4Br(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + HBr(g)$$

En un reactor en el que se ha alcanzado el equilibrio anterior:

**a)** [0,5 puntos] Explique si la cantidad de $NH_4Br(s)$ aumenta, disminuye o no se modifica al introducir $NH_3(g)$ en el reactor.

**b)** [0,5 puntos] Justifique qué ocurre si duplicamos el volumen del reactor a temperatura constante.

**c)** [0,5 puntos] Razone si el valor de la constante de equilibrio a 400 ºC será mayor, menor o igual que a 25 ºC.

## Resolución

### a) Introducir $NH_3(g)$

Añadir producto desplaza el equilibrio hacia la izquierda (principio de Le Chatelier), favoreciendo la reacción inversa.

✓ **La cantidad de $NH_4Br(s)$ aumenta.**

### b) Duplicar el volumen a $T$ constante

Hay 0 mol de gas en reactivos y 2 mol de gas en productos. Duplicar $V$ (disminuir la presión) favorece el lado con más moles gaseosos.

✓ **El equilibrio se desplaza hacia la derecha: se descompone más $NH_4Br(s)$ (su cantidad disminuye).**

### c) Comparación de $K$ a 400 ºC y 25 ºC

La reacción es endotérmica: aumentar $T$ favorece la reacción directa (que consume calor), aumentando la proporción de productos en el equilibrio.

✓ **$K_{400°C}$ es mayor que $K_{25°C}$.**

⇒ **Error común:** Contar el $NH_4Br(s)$ al comparar moles gaseosos: los sólidos no aparecen en la expresión de $K$ ni cuentan en el balance de moles de gas para el efecto del volumen o la presión (aquí, 0 mol de gas en reactivos frente a 2 en productos).

# BLOQUE B · CUESTIÓN B3 (1,5 puntos)

Dadas las siguientes moléculas $NCl_3$ y $BCl_3$:

**a)** [0,5 puntos] Explique por qué el $NCl_3$ presenta carácter polar y, sin embargo, el $BCl_3$ es apolar.

**b)** [0,5 puntos] Justifique la solubilidad en agua de ambas sustancias.

**c)** [0,5 puntos] Indique la hibridación del átomo central en cada una de las moléculas.

## Resolución

### a) Polaridad

El N en $NCl_3$ tiene 3 enlaces y 1 par solitario: geometría **piramidal** (asimétrica), por lo que los momentos dipolares no se cancelan. El B en $BCl_3$ tiene solo 3 enlaces y ningún par solitario (el boro es deficiente en electrones): geometría **plana trigonal** (simétrica), por lo que los momentos dipolares se cancelan.

✓ $NCl_3$ **es polar (piramidal);** $BCl_3$ **es apolar (plana trigonal).**

### b) Solubilidad en agua

Según la regla "lo semejante disuelve a lo semejante", el $NCl_3$ (polar) interacciona mejor con el agua (disolvente polar) mediante fuerzas dipolo-dipolo, siendo más soluble; el $BCl_3$ (apolar) apenas interacciona con el agua por esta vía.

✓ $NCl_3$ **es más soluble en agua que** $BCl_3$**.**

### c) Hibridación del átomo central

N: 3 enlaces + 1 par solitario = 4 dominios de electrones → $\mathbf{sp^3}$. B: 3 enlaces, sin pares solitarios = 3 dominios → $\mathbf{sp^2}$.

✓ **N:** $\mathbf{sp^3}$ **B:** $\mathbf{sp^2}$

⇒ **Error común:** Fijarse solo en la polaridad de los enlaces individuales (N−Cl y B−Cl son ambos polares) sin considerar la geometría molecular global y la presencia o ausencia de pares solitarios.

# BLOQUE B · CUESTIÓN B4 (1,5 puntos)

El número de protones de cuatro átomos es el siguiente: $A = 8$; $B = 9$; $C = 12$ y $D = 20$. Razone:

**a)** [0,5 puntos] ¿Cuál es el más electronegativo?
**b)** [0,5 puntos] ¿Cuál posee menor energía de ionización?
**c)** [0,5 puntos] ¿Cuál puede convertirse en anión divalente estable?

## Resolución

$A = \mathrm{O}$, $B = \mathrm{F}$, $C = \mathrm{Mg}$, $D = \mathrm{Ca}$.

### a) Más electronegativo

El flúor es, por definición, el elemento más electronegativo de toda la tabla periódica.

✓ $B$ (F)

### b) Menor energía de ionización

La energía de ionización disminuye al bajar en un grupo y al desplazarse hacia la izquierda en un periodo. El Ca es un metal alcalinotérreo del periodo 4, situado más abajo y a la izquierda que el Mg, el O o el F.

✓ $D$ (Ca)

### c) Anión divalente estable

Los aniones divalentes estables se forman al completar el octeto ganando 2 electrones; esto es típico de los elementos del grupo 16, como el oxígeno, que forma $\mathrm{O}^{2-}$ (muy estable, presente en óxidos).

✓ $A$ (O), **formando** $\mathrm{O}^{2-}$

⇒ **Error común:** Confundir electronegatividad con energía de ionización: son conceptos relacionados pero distintos, y no siempre varían en el mismo sentido para los mismos elementos comparados.

# BLOQUE B · CUESTIÓN B5 (1,5 puntos)

Indique, razonadamente, si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

**a)** [0,5 puntos] Toda reacción exotérmica es espontánea.

**b)** [0,5 puntos] En toda reacción química espontánea la variación de entropía es positiva.

**c)** [0,5 puntos] En el cambio de estado $H_2O\,(l) \rightleftharpoons H_2O\,(g)$ se produce un aumento de entropía.

## Resolución

### a) ¿Toda exotérmica es espontánea?

La espontaneidad depende de $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, no solo del signo de $\Delta H$. Una reacción exotérmica con $\Delta S$ suficientemente negativo puede tener $\Delta G > 0$ a temperaturas altas (no ser espontánea).

✓ **Falso.**

### b) ¿$\Delta S$ siempre positivo en una reacción espontánea?

El criterio de espontaneidad es $\Delta G_{sistema} < 0$, no que $\Delta S_{sistema}$ sea positivo. Una reacción exotérmica con $\Delta S < 0$ puede ser espontánea si $|\Delta H|$ es suficientemente grande.

✓ **Falso.**

### c) ¿Aumenta la entropía al vaporizar el agua?

Pasar de líquido a gas aumenta el desorden molecular: mayor volumen disponible y mayor libertad de movimiento de las moléculas.

✓ **Verdadero.**

⇒ **Error común:** Confundir el criterio de espontaneidad (signo de $\Delta G$ del sistema) con el signo de $\Delta S$ del sistema exclusivamente, ignorando el papel compensador de $\Delta H$ y $T$.

# BLOQUE B · CUESTIÓN B6 (1,5 puntos)

Escriba las siguientes reacciones:

**a)** [0,5 puntos] $CH_3CH{=}CH_2$ con $Cl_2$
**b)** [0,5 puntos] $CH{\equiv}CH$ con 1 mol de HBr
**c)** [0,5 puntos] $CH_3CH{=}CHCH_3$ con $H_2$

## Resolución

### a) Propeno + $Cl_2$

Adición del halogéno al doble enlace:

$$CH_3{-}CH{=}CH_2 + Cl_2 \longrightarrow CH_3{-}CHCl{-}CH_2Cl$$

✓ **1,2-dicloropropano**

### b) Etino + 1 mol de HBr

Adición de **un** equivalente de HBr al triple enlace (rompe solo un enlace $\pi$):

$$CH{\equiv}CH + HBr \longrightarrow CH_2{=}CHBr$$

✓ **Bromoeteno (bromuro de vinilo)**

### c) 2-buteno + $H_2$

Hidrogenación catalítica del doble enlace:

$$CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3 + H_2 \xrightarrow{Pt} CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$$

✓ **Butano**

⇒ **Error común:** Añadir 2 moles de HBr al alquino en lugar de 1, olvidando que el enunciado limita explícitamente la cantidad de reactivo (“1 mol de HBr”).

# BLOQUE C · PROBLEMA C1 (2 puntos)

Se introduce 0,1 mol de $PCl_5$ en un matraz cerrado de 0,5 L y se calienta a 525 ºC, disociándose un 48 % según la siguiente reacción:

$$PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$$

Calcule:

**a)** [1 punto] Las concentraciones de los gases en el equilibrio y el valor de $K_C$ a esa temperatura.

**b)** [1 punto] La presión total en el interior del matraz cuando se alcanza el equilibrio y el valor de $K_P$ a esa temperatura.

Dato: $R = 0{,}082$ atm·L·mol$^{-1}$·K$^{-1}$

## Resolución

$T = 525 + 273 = 798$ K. Moles disociados: $x = 0{,}48 \times 0{,}1 = 0{,}048$ mol.

$$n(PCl_5) = 0{,}1 - 0{,}048 = 0{,}052 \text{ mol} \qquad n(PCl_3) = n(Cl_2) = 0{,}048 \text{ mol}$$

### a) Concentraciones y $K_C$

Dividiendo entre $V = 0{,}5$ L:

$$[PCl_5] = \frac{0{,}052}{0{,}5} = 0{,}104 \text{ M} \qquad [PCl_3] = [Cl_2] = \frac{0{,}048}{0{,}5} = 0{,}096 \text{ M}$$

$$K_C = \frac{[PCl_3][Cl_2]}{[PCl_5]} = \frac{0{,}096 \times 0{,}096}{0{,}104} \approx 0{,}0886 \text{ mol/L}$$

✓ $[PCl_5] = \mathbf{0{,}104}$ **M;** $[PCl_3] = [Cl_2] = \mathbf{0{,}096}$ **M;** $K_C \approx \mathbf{0{,}0886}$ **mol/L**

### b) Presión total y $K_P$

$$n_{total} = 0{,}052 + 0{,}048 + 0{,}048 = 0{,}148 \text{ mol}$$

$$P_{total} = \frac{n_{total} RT}{V} = \frac{0{,}148 \times 0{,}082 \times 798}{0{,}5} \approx 19{,}4 \text{ atm}$$

$$K_P = K_C(RT)^{\Delta n} = 0{,}0886 \times (0{,}082 \times 798) = 0{,}0886 \times 65{,}436 \approx 5{,}80 \qquad (\Delta n = 1)$$

✓ $P_{total} \approx \mathbf{19{,}4}$ **atm;** $K_P \approx \mathbf{5{,}80}$

⇒ **Error común:** Usar un volumen distinto al del matraz (0,5 L, que es fijo y no cambia) al calcular las concentraciones de equilibrio; solo cambian los moles de cada especie, no el volumen del recipiente.

# BLOQUE C · PROBLEMA C2 (2 puntos)

**a)** [1 punto] A partir del equilibrio correspondiente, calcule el producto de solubilidad del $Mg(OH)_2$ sabiendo que en una disolución saturada de dicho compuesto la concentración de iones $OH^-$ es $2{,}88 \times 10^{-4}$ M.

**b)** [1 punto] Calcule la masa de $Mg(OH)_2$ que hay disuelta en 500 mL de una disolución saturada de dicho compuesto.

Datos: Masas atómicas relativas: Mg= 24,3; O= 16; H= 1

## Resolución

Equilibrio: $Mg(OH)_2(s) \rightleftharpoons Mg^{2+} + 2\,OH^-$. $M(Mg(OH)_2) = 24{,}3 + 2(16+1) = 58{,}3$ g/mol.

### a) Producto de solubilidad

Como $[OH^-] = 2s$:

$$s = \frac{2{,}88 \times 10^{-4}}{2} = 1{,}44 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$K_S = s \cdot (2s)^2 = 4s^3 = 4 \times (1{,}44 \times 10^{-4})^3 \approx 1{,}19 \times 10^{-11}$$

✓ $K_S \approx \mathbf{1{,}19 \times 10^{-11}}$

### b) Masa disuelta en 500 mL

$$n = s \times V = 1{,}44 \times 10^{-4} \times 0{,}5 = 7{,}2 \times 10^{-5} \text{ mol}$$

$$m = 7{,}2 \times 10^{-5} \times 58{,}3 \approx 4{,}20 \times 10^{-3} \text{ g}$$

✓ $m \approx \mathbf{4{,}20 \times 10^{-3}}$ **g (≈4,20 mg)**

⇒ **Error común:** Confundir $K_S = s^2$ con $K_S = 4s^3$, olvidando el factor estequiométrico 2 en $[OH^-] = 2s$ para una sal del tipo $M(OH)_2$.

# BLOQUE C · PROBLEMA C3 (2 puntos)

El agua fuerte es una disolución acuosa que contiene un 25 % en masa de HCl y tiene una densidad de 1,09 g·mL$^{-1}$. Se diluyen 25 mL de agua fuerte añadiendo agua hasta un volumen final de 250 mL.

**a)** [1 punto] Calcule la concentración molar y el pH de la disolución diluida.

**b)** [1 punto] ¿Qué volumen de una disolución que contiene 3,7 g·L$^{-1}$ de $Ca(OH)_2$ será necesario para neutralizar 20 mL de la disolución diluida de HCl?

Datos: Masas atómicas relativas: Ca= 40; Cl= 35,5; O= 16; H= 1

## Resolución

$M(\text{HCl}) = 1 + 35{,}5 = 36{,}5$ g/mol.

### a) Concentración y pH de la diluida

En 1 L de agua fuerte: masa total $= 1{,}09 \times 1000 = 1090$ g; masa de HCl $= 0{,}25 \times 1090 = 272{,}5$ g.

$$c_{inicial} = \frac{272{,}5/36{,}5}{1} \approx 7{,}4658 \text{ mol/L}$$

Al diluir 25 mL hasta 250 mL (factor de dilución 10):

$$c_{diluida} = \frac{7{,}4658}{10} \approx 0{,}7466 \text{ M}$$

Como HCl es un ácido fuerte, $[\text{H}^+] = 0{,}7466$ M:

$$\text{pH} = -\log(0{,}7466) \approx 0{,}13$$

✓ $c_{diluida} \approx$ **0,747 M; pH≈ 0,13**

### b) Volumen de $Ca(OH)_2$ necesario

Moles de HCl en 20 mL:

$$n(\text{HCl}) = 0{,}020 \times 0{,}7466 \approx 0{,}01493 \text{ mol}$$

Neutralización: $Ca(OH)_2 + 2\,HCl \longrightarrow CaCl_2 + 2\,H_2O$ (relación 1:2):

$$n(Ca(OH)_2) = \frac{0{,}01493}{2} \approx 7{,}47 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Con $M(Ca(OH)_2) = 40 + 2(16 + 1) = 74$ g/mol:

$$m = 7{,}47 \times 10^{-3} \times 74 \approx 0{,}5525 \text{ g} \;\Rightarrow\; V = \frac{0{,}5525}{3{,}7} \approx 0{,}1493 \text{ L} = 149{,}3 \text{ mL}$$

✓ $V \approx$ **149,3 mL**

⇒ **Error común:** Calcular el pH o la neutralización con la concentración inicial del agua fuerte, olvidando aplicar primero el factor de dilución (10) antes de cualquier otro cálculo.

# BLOQUE C · PROBLEMA C4 (2 puntos)

El clorato de potasio reacciona con hidróxido de cromo(III) en medio básico:

$$KClO_3 + Cr(OH)_3 + KOH \longrightarrow KCl + K_2CrO_4$$

**a)** [1 punto] Ajuste las ecuaciones iónica y molecular por el método del ion-electrón.
**b)** [1 punto] ¿Cuántos gramos de $Cr(OH)_3$ del 90 % de riqueza se necesitan para reaccionar completamente con 50 mL de una disolución de $KClO_3$ 0,55 M?

Masas atómicas relativas: Cr= 52; O= 16; H= 1

## Resolución

### a) Ajuste ion-electrón (medio básico)

Semirreacciones:

$$\text{Reducción:}\quad ClO_3^- + 3\,H_2O + 6\,e^- \longrightarrow Cl^- + 6\,OH^-$$

$$\text{Oxidación } (\times 2):\quad 2\,Cr(OH)_3 + 10\,OH^- \longrightarrow 2\,CrO_4^{2-} + 8\,H_2O + 6\,e^-$$

Sumando ambas semirreacciones y simplificando el $H_2O$ y el $OH^-$ que aparecen en ambos lados:

$$ClO_3^- + 2\,Cr(OH)_3 + 4\,OH^- \longrightarrow Cl^- + 2\,CrO_4^{2-} + 5\,H_2O$$

Añadiendo los iones espectadores $K^+$ necesarios para la ecuación molecular:

✓ $KClO_3 + 2\,Cr(OH)_3 + 4\,KOH \longrightarrow KCl + 2\,K_2CrO_4 + 5\,H_2O$

### b) Masa de $Cr(OH)_3$ necesaria

$$n(KClO_3) = 0{,}050 \times 0{,}55 = 0{,}0275 \text{ mol}$$

Relación estequiométrica $1\,KClO_3 : 2\,Cr(OH)_3$:

$$n(Cr(OH)_3)_{puro} = 0{,}0275 \times 2 = 0{,}055 \text{ mol}$$

Con $M(Cr(OH)_3) = 52 + 3(16+1) = 103$ g/mol:

$$m_{puro} = 0{,}055 \times 103 = 5{,}665 \text{ g} \;\Rightarrow\; m_{impuro} = \frac{5{,}665}{0{,}90} \approx 6{,}29 \text{ g}$$

✓ $m \approx$ **6,29 g de** $Cr(OH)_3$ **del 90 %**

⇒ **Error común:** Usar directamente la masa pura calculada como respuesta final, olvidando dividir entre la riqueza (90 %) para obtener la masa real del reactivo impuro necesario.