

Nivel 1 - Serie 2

Propiedades de átomos y de compuestos. Enlace químico.

TEMARIO

Propiedades atómicas.

Especies monoatómicas neutras y iónicas. Partículas atómicas y electrones; número atómico, número másico, número de electrones. Configuración electrónica. Concepto de átomos e iones isoelectrónicos. Electrones de valencia.

Concepto y definición de carga nuclear efectiva. Definición de radio atómico y de radio iónico; definición de energía de ionización, definición de energía de unión electrónica; tendencias periódicas en estas propiedades. Concepto de electronegatividad; tendencias periódicas.

Propiedades de compuestos químicos.

Concepto de compuesto iónico. Concepto de enlace covalente. Nomenclatura IUPAC y tradicional de oxoácidos, bases, sales, óxidos, hidróxidos e hidruros de los elementos representativos. Propiedades de estos compuestos: tipo de enlaces. Reacciones de óxidos en agua: óxidos que dan reacción ácida o básica; óxidos que no reaccionan con agua; óxidos insolubles en agua que pueden disolverse por agregado de ácidos, bases, o ambas (óxidos anfóteros).

Enlace covalente.

Concepto y definición de energía y longitud de enlace. Enlaces covalentes polares y no polares. Descripción del enlace químico covalente mediante el modelo de Lewis: regla del octeto; compuestos de elementos del primero y segundo período cuyos átomos alcanzan hasta ocho electrones de valencia; compuestos de elementos del tercer período en adelante cuyos átomos pueden alcanzar más de ocho electrones de valencia (*Nota:* la descripción de los compuestos que se abordan en este Nivel no requiere del concepto de carga formal); concepto y representación de estructuras de resonancia. Concepto de especies isoelectrónicas. Comparación de energías y longitudes de enlace de moléculas relacionadas en el contexto de la descripción del enlace de Lewis.

PROPIEDADES DE LOS ÁTOMOS

Ejercicio 1. Para las especies ^{60}Co , ^{59}Fe y ^{62}Cu , indicar si tienen: (i) el mismo número másico, (ii) la misma carga nuclear, (iii) el mismo número de electrones, (iv) el mismo número de neutrones, (v) el mismo número de partículas nucleares.

R: (iv)

Ejercicio 2. El elemento M forma un ion mononegativo isoelectrónico con el $^{40}\text{Q}^{2+}$, que a su vez tiene 20 neutrones. ¿Qué elementos son M y Q? ¿Cuál de los dos elementos neutros, M o Q, tiene menor radio atómico?

R: M = Cl; Q = Ca; el cloro tiene menor radio que el calcio.

Ejercicio 3. Se desea identificar a los elementos J, Q y L. El elemento J es el cuarto metal alcalino; el nucleido ^{90}Q tiene 52 neutrones; los átomos del elemento L forman un anión divalente estable isoelectrónico con el catión K^+ . Identificar a los elementos con sus símbolos y ordenarlos de menor a mayor radio atómico.

Ejercicio 4.

- (a) Escribir las configuraciones electrónicas de las siguientes especies: Ne, O^{2-} , K^+ y Ar.
(b) ¿Qué especies, entre ellas, son isoelectrónicas?
(c) ¿Cuántos electrones de valencia tiene cada una de ellas?

R: (a) Ne: $1s^2 2s^2 2p^6$, O^{2-} : $1s^2 2s^2 2p^6$, K^+ : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, Ar: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ (b) Ne y O^{2-} isoelectrónicas, K^+ y Ar isoelectrónicas (c) Todas tienen 8 electrones de valencia.

Ejercicio 5. Ordenar las siguientes especies en grupos isoelectrónicos: He, Mg^{2+} , Mn^{2+} , Cs^+ , O^{2-} , Ar, Ne, Li^+ , Ba^{2+} , Be^{2+} , F^- , Na^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cl^- , I^- , K^+ , Xe, Ca^{2+} .

R: He, Li^+ , Be^{2+} / F^- , O^{2-} , Ne, Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} / Cl^- , Ar, K^+ , Ca^{2+} / Fe^{3+} , Mn^{2+} / I^- , Xe, Cs^+ , Ba^{2+} .

Ejercicio 6. Indicar cómo varían en el grupo I (yendo del litio al cesio) las siguientes propiedades; justificar los ítems (a), (b), y (c):

- (a) El radio atómico.
(b) El radio iónico del ion M^+ .
(c) La primera energía de ionización.
(d) La electronegatividad.

R: (a) Aumenta al ir del Li al Cs debido al aumento del número cuántico principal y, por lo tanto, de la distancia promedio de los electrones más externos al núcleo; (b) Aumenta al ir del Li al Cs por el mismo motivo; (c) Disminuye al ir del Li al Cs ya que, al estar los electrones externos más alejados, la atracción nuclear que perciben es más débil; (d) Disminuye al ir del Li al Cs.

Ejercicio 7. Indicar cómo varían en el segundo período (yendo del litio al flúor) las siguientes propiedades; justificar los ítems (a) y (b):

- (a) El radio atómico.
(b) La primera energía de ionización.
(c) La electronegatividad.

R: (a) Disminuye al ir del Li al F por el aumento de la carga nuclear efectiva que perciben los electrones más externos; (b) Aumenta al ir del Li al F por el mismo motivo; (c) Aumenta al ir del Li al F.

Ejercicio 8. En base a los números atómicos de los elementos estaño, argón, cloro y plomo, asignar los siguientes valores de radios atómicos a cada uno de esos elementos: 0,098 nm; 0,099 nm; 0,162 nm; y 0,175 nm.

R: Sn 0,162 nm; Ar 0,098 nm; Cl 0,099 nm; Pb 0,175 nm.

Ejercicio 9.

(a) La mayoría de los metales de transición pueden formar más de un ion simple positivo. Por ejemplo, el hierro forma iones Fe^{2+} y Fe^{3+} y el cobre forma iones Cu^+ y Cu^{2+} . ¿Cuál es el más pequeño de cada par y por qué?

(b) Ordenar los siguientes conjuntos de aniones en orden de radios iónicos crecientes: (i) Cl^- , S^{2-} , P^{3-} ; (ii) O^{2-} , S^{2-} , Se^{2-} ; (iii) N^{3-} , S^{2-} , Br^- , P^{3-} .

Ejercicio 10. Ordenar las siguientes especies en orden creciente de radio en los casos en que sea posible: (i) Li^+ , Li, He (ii) O^{2-} , O (iii) Li, I, O, Rb (iv) O^{2-} , I (v) Mg^{2+} , F^- , Cl^- , Be^{2+} , S^{2-} , Na^+ .

R: (i) $r_{\text{Li}^+} < r_{\text{He}} < r_{\text{Li}}$ (ii) $r_{\text{O}} < r_{\text{O}^{2-}}$ (iii) $r_{\text{O}} < r_{\text{Li}}$ y $r_{\text{I}} < r_{\text{Rb}}$ (iv) No puede establecerse (v) $r_{\text{Be}^{2+}} < r_{\text{Mg}^{2+}} < r_{\text{Na}^+} < r_{\text{F}^-} < r_{\text{Cl}^-} < r_{\text{S}^{2-}}$.

Discusión:

¿Cuál de los siguientes enunciados es más correcto? ¿Por qué?

1. El magnesio ejerce una débil atracción sobre los electrones de un enlace químico porque tiene una electronegatividad baja.
2. La electronegatividad del magnesio es baja porque éste ejerce una débil atracción sobre los electrones de un enlace químico.

¿Se te ocurre un enunciado que exprese mejor esta idea?

PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS

Ejercicio 11. Escribir la fórmula del compuesto que se forma entre (i) calcio y nitrógeno; (ii) aluminio y oxígeno; (iii) potasio y selenio; (iv) estroncio y cloro. Clasificar cada compuesto como predominantemente covalente o predominantemente iónico.

R: (i) Ca_3N_2 (ii) Al_2O_3 (iii) K_2Se (iv) SrCl_2 . Todos los compuestos son predominantemente iónicos.

Ejercicio 12.

(a) Indicar de entre las siguientes opciones cuál corresponde a la fórmula de un compuesto binario de aluminio con fósforo: (i) AlP ; (ii) AlPO_4 ; (iii) Al_5P_3 ; (iv) Al_3P ; (v) $\text{Al}(\text{PO}_3)_3$.

(b) El elemento gadolinio (Gd, $Z=64$) forma un sulfuro Gd_2S_3 . Se espera que el fluoruro de gadolinio correspondiente tenga la fórmula: (i) Gd_2F_3 ; (ii) GdF_2 ; (iii) GdF_3 ; (iv) Gd_3F_2 ; (v) ninguna de las anteriores.

R: (a) (i) (b) (iii)

Ejercicio 13. Clasificar los siguientes óxidos como ácidos o básicos y escribir la ecuación química que representa la reacción de los mismos con agua: (i) SO_3 (ii) MgO (iii) CO_2 (iv) Rb_2O , (v) As_2O_3 ; (vi) CaO .

R: (i) ácido; (ii) básico; (iii) ácido; (iv) básico; (v) ácido; (vi) básico.

Ejercicio 14. Los óxidos ZnO y Al_2O_3 son insolubles en agua, pero reaccionan tanto con ácidos como con bases, por lo que decimos entonces que tienen comportamiento anfótero. Representar mediante ecuaciones químicas las reacciones de estos dos óxidos con ácidos y con bases fuertes.

Ejercicio 15. El nitrógeno forma óxidos de fórmula N_2O_3 y N_2O_5 , mientras que los correspondientes compuestos de fósforo son P_4O_6 y P_4O_{10} .

- (a) Escribir la fórmula de los oxoácidos correspondientes.
 (b) Escribir las ecuaciones químicas de formación de estos óxidos (a partir de las sustancias elementales correspondientes).
 (c) Escribir las ecuaciones de obtención de los oxoácidos a partir de los óxidos y agua.

Ejercicio 16. Predecir los productos de las siguientes reacciones y escribir una ecuación química balanceada para cada una de ellas:

- (a) $Cl_2O_7(l) + H_2O(l) \longrightarrow$
 (b) $P_4(s) + O_2(g)$ (cantidad en exceso) \longrightarrow
 (c) $P_4(s) + O_2(g)$ (cantidad limitante) \longrightarrow

Ejercicio 17. Elegir dos compuestos iónicos solubles en agua que cuando se mezclan en solución acuosa produzcan los siguientes precipitados: (i) $Al(OH)_3$; (ii) $CaCO_3$; (iii) $AgCl$; (iv) $PbCl_2$ (v) Ag_2SO_4 . En cada caso escribir las ecuaciones químicas que representan a las reacciones que tienen lugar.

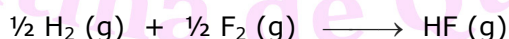
R: Existen muchas respuestas posibles para este tipo de ejercicio. Se espera que puedan plantear la formación de un precipitado sólido a partir de la mezcla de dos soluciones acuosas. Por ejemplo, en el caso del ítem (i) se podría seleccionar alguna sal soluble de aluminio ($AlCl_3$, $Al(NO_3)_3$, $Al_2(SO_4)_3$, etc.) y un hidróxido soluble en agua ($NaOH$, KOH , etc.)
 Un ejemplo de respuesta correcta, sería entonces: $Al(NO_3)_3(ac) + 3 NaOH(ac) \longrightarrow Al(OH)_3(s) + 3 NaNO_3(ac)$.

ENLACE QUÍMICO

Ejercicio 18. Decidir qué será más favorable desde el punto de vista energético: a) una molécula cíclica con ocho átomos de azufre (S_8) unidos por enlaces simples, o cuatro moléculas diatómicas de azufre (S_2) unidas por enlaces dobles; b) una molécula cíclica con ocho átomos de oxígeno (O_8) o cuatro moléculas diatómicas de oxígeno (O_2).

Datos: energías de enlace $O-O$ 146 kJ mol^{-1} , $O=O$ 496 kJ mol^{-1} , $S-S$ 226 kJ mol^{-1} , $S=S$ 423 kJ mol^{-1} .

Ejercicio 19. Determinar la energía asociada a la reacción de formación del $HF(g)$, representada por la siguiente ecuación química:



Datos: energías de enlace $H-H$ 436 kJ mol^{-1} , $F-F$ 151 kJ mol^{-1} , $H-F$ 568 kJ mol^{-1} .

Ejercicio 20. ¿Cuáles dos de los siguientes pares de elementos formarán enlaces predominantemente iónicos? Te y H ; C y F ; Ba y F ; N y F ; K y O . De los tres pares restantes, ¿cuál forma el enlace covalente más polar y cuál el menos polar? En todos los casos justificar la respuesta.

Ejercicio 21. Ordenar los siguientes pares de compuestos en orden creciente según el carácter iónico del enlace que forman: carbono-hidrógeno; flúor-hidrógeno; bromo-hidrógeno; sodio-yodo; potasio-flúor; litio-cloro. Buscar en bibliografía los compuestos binarios formados por esos elementos e indicar cuáles son moléculas covalentes y cuáles sólidos iónicos.

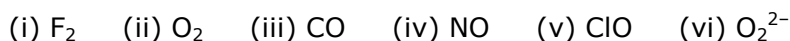
R: $C-H < Br-H < Na-I < F-H < Li-Cl < K-F$.

Ejercicio 22. Indicar cuál/es de las siguientes afirmaciones es/son verdadera/s para la sustancia nitrato de amonio: (i) muestra sólo enlaces iónicos; (ii) muestra sólo enlaces

covalentes; (iii) muestra enlaces tanto iónicos como covalentes; (iv) tiene la fórmula NH_3NO_3 ; (v) tiene la fórmula NH_4NO_2 ; (vi) tiene la fórmula NH_4NO_3 .

REPRESENTACIÓN DE ESTRUCTURAS DE LEWIS

Ejercicio 23. Representar las estructuras de Lewis de las siguientes especies diatómicas:



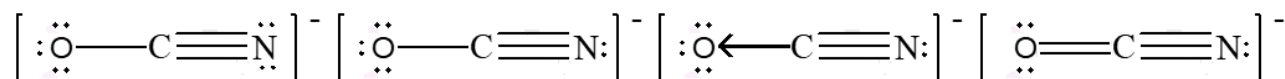
Indicar cuáles enlaces son polares y cuáles no polares justificando tu respuesta. Indicar cuáles de estas especies son radicalarias (es decir que presentan en su estructura al menos un electrón desapareado).

Ejercicio 24. Para las especies N_2 , CO , CN^- y NO^+ , indicar si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

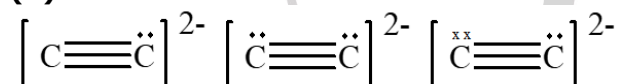
- Todas las especies son diatómicas.
- En todas las especies los dos átomos están unidos por un enlace triple.
- En todos los casos el enlace es polar.
- Todas las especies son isoelectrónicas.

Ejercicio 25. Para cada compuesto, solamente una de las estructuras propuestas es correcta. Indicar de cuál se trata y señalar los errores que tienen las restantes.

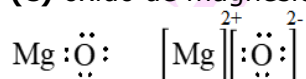
(a) ion cianato



(b) ion carburo

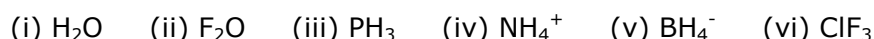


(c) óxido de magnesio

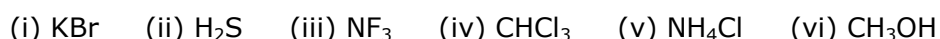


R: (a) (i) La cantidad de electrones de la molécula es incorrecta (sobra un par de electrones); (ii) es correcta; (iii) es incorrecta (utiliza la idea de unión dativa); (iv) es incorrecta (el átomo de carbono excede los ocho electrones lo cual no es posible pues pertenece al segundo período). (b) (i) La cantidad de electrones de la molécula es incorrecta (falta un par de electrones); (ii) es correcta; (iii) es incorrecta (utiliza distintos símbolos para representar a los electrones). (c) (i) Es incorrecta pues se trata de un compuesto iónico; (ii) es correcta.

Ejercicio 26. Representar las estructuras de Lewis de las siguientes especies:



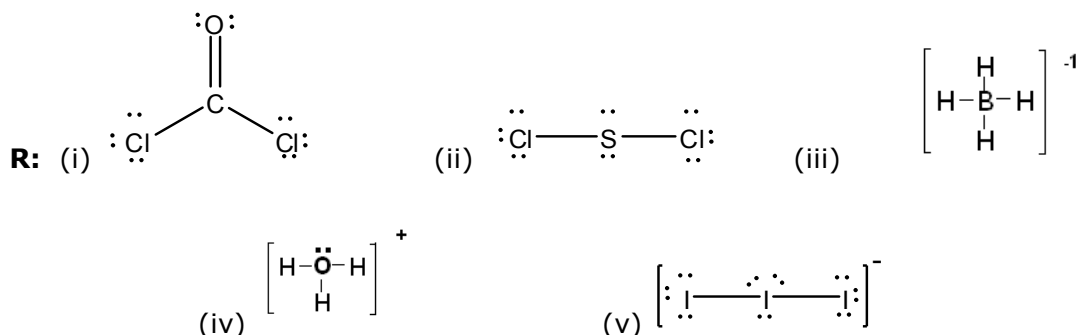
Ejercicio 27. ¿Cuáles de los siguientes compuestos esperarías que fueran iónicos y cuáles no? Representar las estructuras de Lewis de todos ellos.



Ejercicio 28. Todos los enlaces químicos en las siguientes sustancias son equivalentes. ¿Cuáles de ellas requieren el dibujo de dos estructuras de Lewis resonantes para dar cuenta de ese hecho? Indicar cuáles enlaces son polares y cuáles no polares.

(i) CO₂ (ii) ClNO₂ (iii) H₃O⁺ (iv) CH₄ (v) O₃ (vi) NO₂

Ejercicio 29. Dibujar estructuras de Lewis aceptables para las siguientes moléculas o iones: (i) COCl₂; (ii) SCl₂; (iii) BH₄⁻; (iv) H₃O⁺; (e) I₃⁻. Indicar cuáles enlaces son polares y cuáles no polares.



Ejercicio 30. El xenón y el flúor reaccionan en fase gaseosa a 350 °C produciendo una mezcla de XeF₂, XeF₄ y XeF₆.

(a) Representar mediante ecuaciones químicas la formación de cada uno de estos compuestos.

(b) Dibujar las estructuras de Lewis de los productos.

Ejercicio 31. Representar las estructuras de Lewis para las siguientes fórmulas: (i) C₂H₆ (ii) C₃H₄ (iii) C₂H₆S. ¿Alguna de ellas admite más de una posibilidad? ¿Qué nombre reciben los compuestos químicos que presentan la misma fórmula molecular pero distinta estructura química?

RELACIÓN ENTRE ESTRUCTURAS DE LEWIS Y PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS

Ejercicio 32. En base a sus estructuras de Lewis, ordenar los siguientes compuestos según longitud de enlace N - O creciente: NO⁺, NO₂⁻ y NO₃⁻.

R: NO⁺ < NO₂⁻ < NO₃⁻.

Ejercicio 33. Se han determinado las energías de los enlaces N - N en el nitrógeno molecular (N₂) y en la hidracina (N₂H₄), obteniéndose 942 kJ mol⁻¹ y 168 kJ mol⁻¹. Indicar a qué compuesto corresponde cada valor de energía de enlace (Ayuda: representar las estructuras de Lewis de estos compuestos).

Ejercicio 34. Dadas las siguientes especies: CO₂, CO y CO₃²⁻,

(a) Proponer estructuras de Lewis aceptables para cada una de las especies, considerando que se determinó experimentalmente que existe una única longitud de enlace C-O para los tres enlaces presentes en el CO₃²⁻.

(b) Ordenar las tres especies según longitud del enlace C-O creciente.

R: Según longitud de enlace C-O: CO < CO₂ < CO₃²⁻. El monóxido de carbono presenta un triple enlace, el dióxido de carbono dos enlaces dobles, y el carbonato presenta tres estructuras de Lewis en resonancia, cada una con dos enlaces simples y uno doble; esto corresponde a una situación de enlaces con aproximadamente un 33 % de carácter de enlace doble.

Ejercicio 35. Los óxidos más importantes del grupo del carbono presentan la fórmula genérica EO₂, donde "E" puede ser cualquier elemento del grupo. Pese a esta similitud, el CO₂ es un gas mientras que el SiO₂ es un sólido. Investigar en bibliografía la estructura química del SiO₂ y explicar en base a esta información este comportamiento aparentemente contradictorio.

EJERCICIOS INTEGRADORES

Ejercicio 36. El producto químico utilizado para el funcionamiento de un airbag es esencialmente la azida de sodio, NaN_3 , contenida en el interior del mismo. El NaN_3 es un sólido blanco, formado por los iones Na^+ y N_3^- . Si se produce un impacto, este compuesto se descompone según:



La reacción es tan rápida que se completa en menos de 40 milisegundos, obteniendo un volumen suficiente de N_2 para inflar la estructura elástica que constituye el airbag, impidiendo el choque del conductor contra el volante o el parabrisas en el momento de la colisión.

(a) Estimar la masa de azida sódica contenida en el sistema si a una temperatura de $23,5^\circ\text{C}$ se formaron 35,4 litros de N_2 .

(b) La azida de amonio es una sustancia muy reactiva. Escribir su fórmula, indicando el tipo de enlaces (iónicos / covalentes). Proponer las posibles estructuras de Lewis.

R: (a) 63,1g.

Ejercicio 37. Dados los siguientes aniones: N^{3-} , O^{2-} , Br^- y Cl^- , contestar las siguientes preguntas:

(a) ¿Son todas estas especies isoelectrónicas?

(b) El bromuro y el cloruro forman sales de plata insolubles. Escribir ecuaciones que representen las reacciones de obtención de estas sales insolubles a partir de la mezcla de soluciones acuosas de sales solubles.

(c) Sabiendo que los radios iónicos de Br^- y Cl^- son 181 pm y 196 pm, ¿podrías asignar los valores dados a cada especie?

R: (a) No. Solamente el N^{3-} y el O^{2-} son especies isoelectrónicas. **(b)** Por ejemplo, a partir de soluciones de nitrato de plata y de soluciones de cloruro o bromuro de sodio, respectivamente.



(c) Br^- : 196 pm; Cl^- : 181 pm.

Ejercicio 38. Los siguientes compuestos están presentes en la manufactura o durante las explosiones de los fuegos artificiales:



(a) Escribir las estructuras de Lewis de los mismos.

(b) Clasificar los óxidos en ácidos, básicos o anfóteros, y escribir la ecuación química que representa la reacción de los mismos con agua.

(c) Para los metales de las sales (ii), (iii) y (vi), ordenarlos según sus valores crecientes de energía de ionización. Justificar la respuesta.