

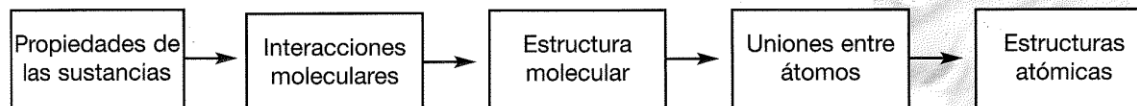
Unidad N°2

UNIONES QUIMICAS

2. Estructura molecular

En la actualidad se conocen más de tres millones de sustancias químicas distintas, tales como agua, oxígeno, sal, azúcar, sulfato de cobre, cal, arena, aceite, dióxido de carbono, metano, butano (gas de las garrafas), arena, carbón, cobre, etcétera, las cuales están constituidas por partículas muy pequeñas, denominadas moléculas, formadas por uno, dos o más átomos, iguales o diferentes, provenientes de menos de un centenar de elementos químicos.

Las diferencias que se observan entre las propiedades de las sustancias se atribuyen a las acciones que ejercen entre sí sus moléculas. Pero, como esas interacciones moleculares son una consecuencia de la estructura molecular, para comprender a ésta es necesario conocer por qué y cómo se unen los átomos entre sí para formar las moléculas. Y, como es lógico deducir, esto depende de la propia estructura de los átomos.



Moléculas comunes



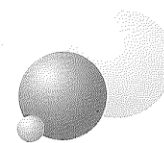
Agua



Amoníaco



Alcohol etílico



Soda cáustica

2.1. ¿Por qué se unen los átomos entre sí?

Las ideas actuales para explicar las uniones entre los átomos para formar moléculas tienen su origen en la teoría del octeto electrónico, elaborada en 1916 por los científicos **Gilbert Lewis** (1875-1946) y **Walter Kossel** (1888-1956) y cuyas formulaciones pueden resumirse del siguiente modo:

- Los gases inertes son estables (no presentan actividad química) por tener su órbita externa completa con ocho electrones, a excepción del helio que satura su única órbita con dos. Sus átomos no se unen entre sí, se encuentran libres e independientes, son estables en sí mismos. Sus moléculas son monoatómicas.
- Los metales y no metales, con menos de ocho electrones en su última órbita, tienen actividad química. Sus átomos se unen entre sí formando moléculas constituidas por dos o más átomos. La actividad química de los metales y de los no metales se debe a la necesidad de adquirir una configuración electrónica similar a la del gas inerte más cercano en la Tabla Periódica, para así alcanzar estabilidad. A estos efectos ganan, ceden o comparten electrones. Así, por ejemplo: los átomos de sodio ($Z = 11$), que tienen un solo electrón en su órbita externa, tratan de perderlo para asemejarse al neón ($Z = 10$), mientras los átomos de cloro ($Z = 17$) procuran ganar un electrón para parecerse al argón ($Z = 18$); los átomos de calcio ($Z = 20$) tienden a ceder dos electrones para adquirir la configuración electrónica del argón ($Z = 18$) y, por el

Gases inertes	Órbitas					
	1	2	3	4	5	6
He	2					
Ne	2	8				
Ar	2	8	8			
Kr	2	8	18	8		
Rn	2	8	18	18	8	
Xe	2	8	18	32	18	8

contrario, los átomos de oxígeno ($Z = 8$) tratan de captar dos electrones para asemejarse al neón ($Z = 10$).

- En el caso de los elementos que están próximos al helio ($Z = 2$) procuran adquirir la configuración electrónica de este gas inerte. Así, el hidrógeno, con un solo electrón, procura ganar otro; en cambio, el litio ($Z = 3$) trata de ceder su electrón externo para lograr la misma estructura electrónica que el helio.

En suma, las proposiciones anteriores se pueden resumir así:

Los átomos ceden, ganan o comparten electrones para adquirir la configuración electrónica del gas inerte más próximo en la Tabla Periódica.

2.1.1. La notación de Lewis

Para simplificar la representación de los átomos y teniendo en cuenta que sus características químicas dependen generalmente de los electrones de la última órbita (electrones de valencia), **Lewis** propuso una forma sencilla de representación:

Cada átomo se representa con su símbolo, rodeado de puntos en igual cantidad a los electrones que tiene en su órbita externa.

A modo de ejemplo:

Elemento químico	Distribución electrónica en las órbitas	Configuración electrónica	Notación de Lewis
Litio	2-1	$1s^2 2s^1$	$\cdot \text{Li}$
Magnesio	2-8-2	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$	$\ddot{\text{Mg}}$
Aluminio	2-8-3	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$	$\cdot \ddot{\text{Al}}$
Carbono	2-4	$1s^2 2s^2 2p^2$	$\cdot \ddot{\text{C}} \cdot$
Nitrógeno	2-5	$1s^2 2s^2 2p^3$	$\cdot \ddot{\text{N}} \cdot$
Oxígeno	2-6	$1s^2 2s^2 2p^4$	$\cdot \ddot{\text{O}} \cdot$
Cloro	2-8-7	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$	$\cdot \ddot{\text{Cl}} \cdot$
Argón	2-8-8	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$	$\cdot \ddot{\text{Ar}} \cdot$

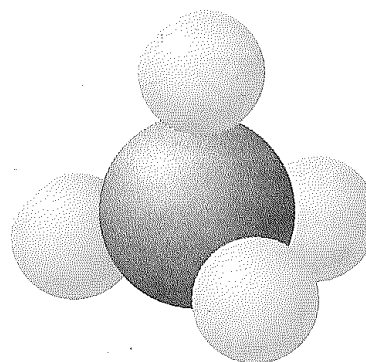
Como se observa, los electrones se representan de a pares cuando corresponden a orbitales completos y solos en el caso de orbitales incompletos.

2.2. Las uniones químicas

Las atracciones existentes entre los átomos que llevan a la formación de moléculas suelen denominarse enlaces o uniones químicas.

En un átomo aislado cada electrón sólo experimenta la influencia del núcleo y de los restantes electrones. En cambio, cuando dos átomos se acercan, los electrones de cada uno también quedan sometidos al influjo del núcleo y de los electrones del otro. Esta interacción origina una atracción entre los átomos que se traduce en un enlace o unión química.

Los átomos se unen de diferentes formas, tales como la **unión iónica**, la **unión covalente** y la **unión metálica**.



Molécula de metano.

2.2.1. El enlace o unión iónica

Este tipo de unión se presenta corrientemente entre los átomos de un metal y un no metal. Se observa en numerosas sustancias químicas compuestas que se encuentran en la naturaleza, tales como las sales (cloruro de sodio, fluoruro de calcio, bromuro de sodio, yoduro de potasio, sulfuro de hierro (II), cloruro de hierro (III), fluoruro de calcio, sulfuro de sodio, etcétera).

22.1.1. Un ejemplo de unión iónica: El cloruro de sodio

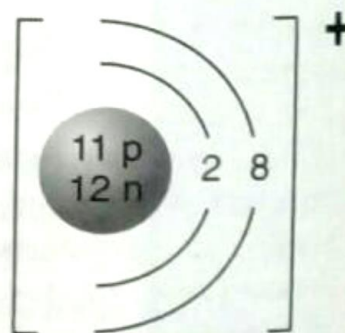
El cloruro de sodio está compuesto por un metal, el **sodio (Na)**, y un no metal, el **cloro (Cl)**.

El átomo de sodio ($Z = 11$) tiene la siguiente estructura:



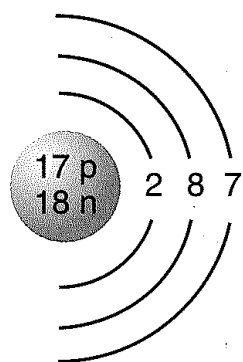
Átomo de sodio neutro.

Este átomo trata de perder el electrón de su órbita externa para parecerse al gas inerte más próximo que es el neón ($Z = 10$). En el caso de concretarse la pérdida, queda con 11 protones y 10 electrones, es decir, con una carga positiva de más. Entonces, se transforma en un catión de sodio monovalente:



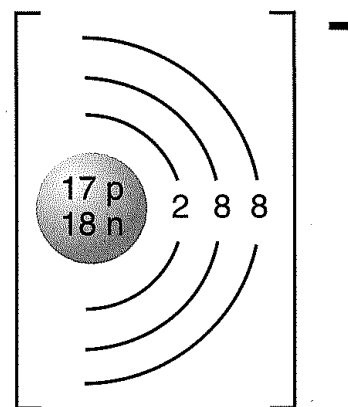
Catión de sodio monovalente.

El átomo de cloro ($Z = 17$) presenta la siguiente estructura:



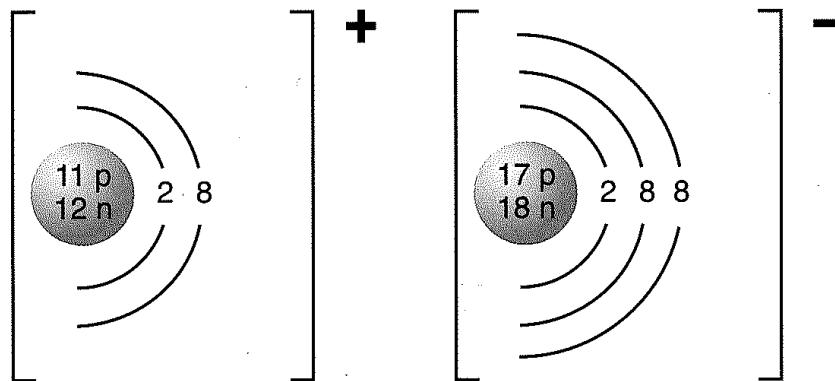
Átomo de cloro neutro.

Como el gas inerte más próximo es el argón ($Z = 18$), el átomo de cloro trata de ganar un electrón, convirtiéndose en un anión cloruro con una carga negativa (monovalente):

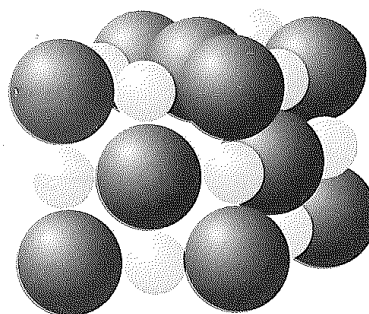
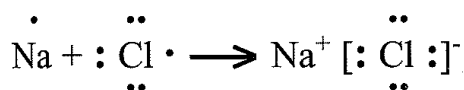


Anión cloruro monovalente.

Cuando se produce el acercamiento entre un átomo de sodio y otro de cloro, ocurre la transferencia del electrón del primero al segundo, convirtiéndose en catión sodio y anión cloruro, respectivamente. Como estos iones tienen cargas eléctricas de signo contrario, se atraen y queda formado el cloruro de sodio:



De acuerdo con la notación de Lewis, esta unión puede representarse de la siguiente forma:



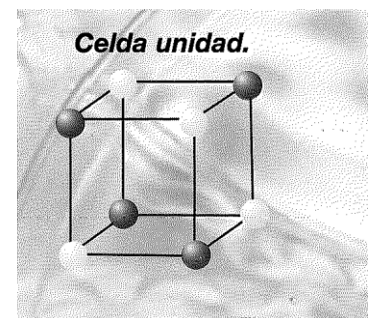
Na⁺

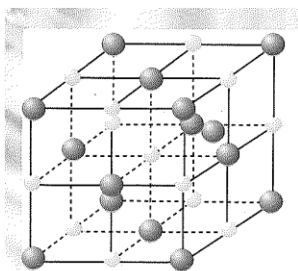
Cl⁻

Como es lógico suponer, este proceso se produce simultáneamente entre muchos átomos de cloro y de sodio, resultando un cristal cuya estructura podemos representar del siguiente modo:

Cada anión cloruro está rodeado por seis cationes de sodio (arriba, abajo, a la izquierda, a la derecha, adelante y atrás) y recíprocamente, cada catión Na⁺ es atraído por seis aniones Cl⁻, constituyendo una “molécula gigante” formada por numerosos iones interrelacionados por atracción electrostática.

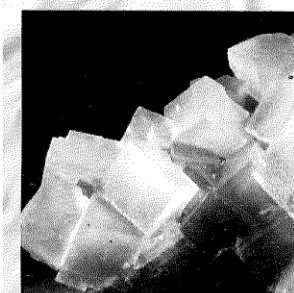
El examen con Rayos X ha demostrado que esta “molécula gigante” resulta de la repetición regular de una unidad básica, denominada **celda unidad**.





● = anión cloruro (Cl^-)
 ● = catión sodio (Na^+)

Red cristalina.



**Cristal de sal gema
(NaCl).**

Las redes iónicas

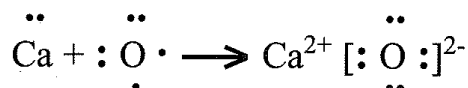
El cloruro de sodio por presentar uniones iónicas adquiere, entre otras, las siguientes características:

- Alrededor de la *celda unidad* se agrupan, en las tres direcciones del espacio, los otros iones presentes, de acuerdo con su afinidad eléctrica. Así, se va formando la **red cristalina iónica** que caracteriza a la sal común de mesa.
- En razón de que las fuerzas de atracción electrostática entre los iones son muy grandes, el cloruro de sodio tiene un punto de fusión alto (808°C) y por ello es sólido a la temperatura ambiente.
- En condiciones adecuadas forma cristales de forma cúbica y de gran dureza, que se denominan **cristales iónicos**, por estar constituidos por iones.
- Los cationes y aniones se disponen alternadamente en forma ordenada, por lo cual no se pueden diferenciar grupos limitados de átomos formando una unidad. Por lo tanto, no presentan moléculas; el conjunto de todos los iones podrían considerarse como una gran molécula.
- Cuando se encuentra en estado sólido, los iones no pueden moverse dentro de la red cristalina y por eso no conducen la corriente eléctrica. En cambio, si se calienta hasta la fusión o se disuelve en agua, la red cristalina se desarma, los iones pueden movilizarse y entonces, el cloruro de sodio conduce la electricidad pero descomponiéndose. Por eso forma parte de los compuestos denominados **electrolitos**.

Otro ejemplo:

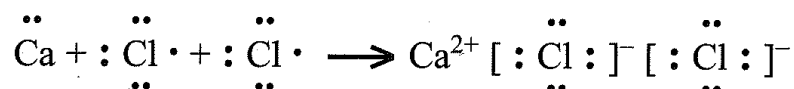
En el caso del óxido de calcio, conocido en el comercio con el nombre de “cal viva”, sucede lo siguiente:

Los átomos de calcio, cuya estructura electrónica es 2 - 8 - 8 - 2, ceden los dos electrones externos para adquirir la estructura del argón (2 - 8 - 8), mientras que los átomos de oxígeno (estructura electrónica = 2 - 6) los ganan para asemejarse al neón (2 - 8). En consecuencia, se forman cationes de calcio (Ca^{2+}) y aniones de oxígeno (O^{2-}), lo cual puede representarse así:

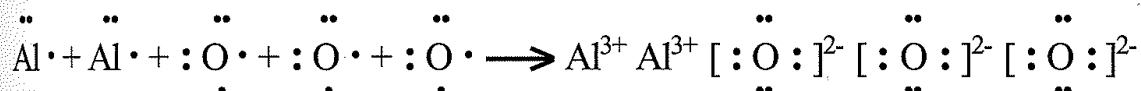


Un aspecto a tener en cuenta

En la formación de estos compuestos es necesario que haya igualdad entre los electrones ganados y los perdidos. En los casos anteriores esto se logra con un átomo de cada elemento, pero en otras ocasiones es algo más complicado. Así, en el cloruro de calcio, cada átomo de calcio pierde dos electrones formando el catión Ca^{2+} y son necesarios dos átomos de cloro para que cada uno de ellos gane uno de dichos electrones, originando dos aniones Cl^- :



En la reacción del aluminio con el oxígeno, cada átomo de aluminio cede tres electrones, mientras que los de oxígeno aceptan dos; por lo tanto, deben unirse dos átomos de aluminio con tres de oxígeno, según se observa en la siguiente representación:



Este tipo de unión se produce entre elementos con baja energía de ionización (metales) y elementos con elevada afinidad electrónica (no metales), formándose **compuestos iónicos**.

En síntesis, se puede establecer que:

La unión iónica es aquella en que hay transferencia de electrones de un metal a un no metal, formándose cationes y aniones, respectivamente, que se mantienen unidos entre sí por fuerzas electrostáticas.

2.2.1.3. ¿Cuáles son las propiedades de los compuestos iónicos?

Las sustancias que se forman por unión iónica se caracterizan por presentar las siguientes propiedades comunes:

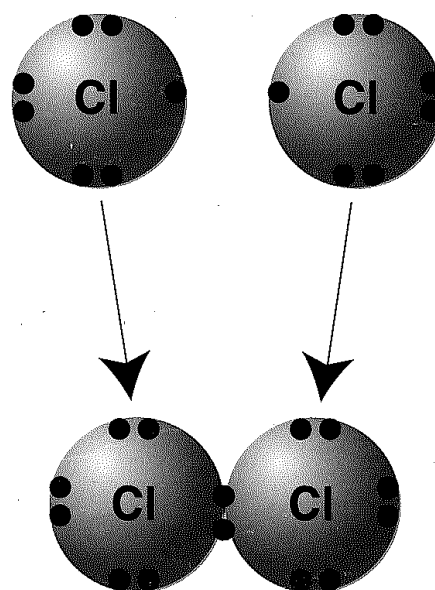
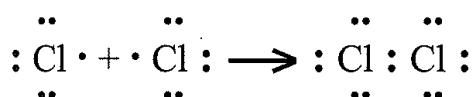
- No forman moléculas independientes.
- Presentan redes cristalinas iónicas.
- Tienen punto de fusión y de ebullición elevados (más de 700 °C), por lo cual a la temperatura ambiente se encuentran en estado sólido.

- Son solubles en el agua.
- En estado sólido no conducen la corriente eléctrica.
- Fundidas o en solución conducen la corriente eléctrica continua descomponiéndose (se comportan como electrolitos).
- Son duras y frágiles.

2.2.2. La unión o enlace covalente

Este tipo de unión se observa en las moléculas constituidas por átomos de no metales, como es el caso de las moléculas biatómicas de los gases simples (cloro, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, flúor).

- En la molécula de cloro (Cl_2), los dos átomos que la forman tienen siete electrones externos y necesitan uno más para completar el octeto. Es lógico suponer que uno de los átomos de cloro no puede quitarle un electrón al otro porque son iguales; entonces, comparten un par de electrones (uno de cada átomo):



Formación de una molécula de cloro (Cl_2).

Ninguno de los átomos adquiere la posesión total de ambos electrones, por lo cual a veces un átomo y otras el otro, tiene completa su última órbita, asemejándose al gas inerte más próximo que es el argón.

Esta forma de unión interatómica se denomina **unión covalente**.

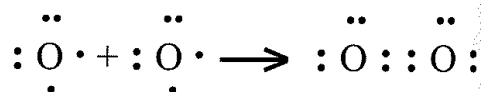
Como los dos átomos que se unen son iguales tienen la misma carga nuclear positiva (17 protones) y, por lo tanto, atraen con la misma fuerza al par de electrones que comparten. Entonces, en la molécula las cargas eléctricas están distribuidas uniformemente, no hay polos eléctricos positivo y negativo, respectivamente.

Al no existir atracción eléctrica entre las moléculas, éstas son independientes unas de otras y por eso, a la temperatura ambiente, se encuentran en estado gaseoso.

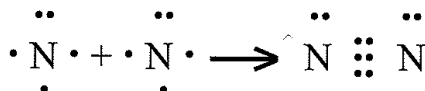
- De modo similar se origina la molécula de hidrógeno (H_2). Cuando dos átomos de hidrógeno chocan, cada uno intenta arrancarle un electrón al otro, pero, como no puede lograrlo, quedan compartiendo los dos electrones para parecerse al helio:



- En el caso del oxígeno (O_2), como los dos átomos tienen seis electrones externos deben compartir dos pares de electrones para adquirir la estructura electrónica del neón:

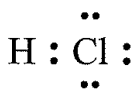


- Los átomos de nitrógeno, al tener cinco electrones en su última órbita, deben compartir tres pares electrónicos para formar una molécula de nitrógeno (N_2):

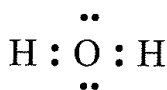


La unión covalente no sólo se observa en las moléculas simples, sino también en muchas otras que forman las sustancias compuestas, tales como el cloruro de hidrógeno, el agua, el monóxido de azufre, el dióxido de carbono, etcétera:

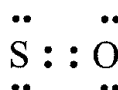
**Cloruro
de hidrógeno**



Agua



**Monóxido
de azufre**



**Dióxido
de carbono**



En todos los casos, los electrones se comparten de a pares, pudiendo los átomos compartir uno, dos o tres pares de electrones, dando **uniones covalentes simples, dobles o triples**, respectivamente. Así, la unión del H con el Cl es covalente simple, la del S con el O es covalente doble y la de los dos átomos que forman una molécula de N_2 es covalente triple. En suma:

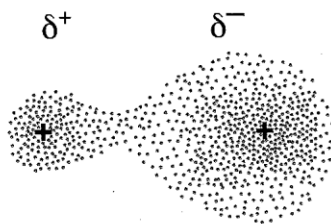
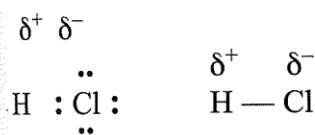
En la *unión o enlace covalente* los átomos comparten uno o más pares de electrones para completar el octeto externo. Esta unión se produce entre los átomos de no metales.

Moléculas no polares y polares

En el caso de los gases simples (hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, flúor y cloro), como los átomos que forman las moléculas son iguales, sus núcleos atraen con igual intensidad al par de electrones que comparten y, en consecuencia, la distribución de las cargas eléctricas es uniforme. Las moléculas no presentan zonas con cargas eléctricas (polos) y por eso se llaman **moléculas no polares**.

En cambio, cuando los átomos que constituyen la molécula son diferentes, suelen presentarse casos como el siguiente:

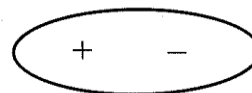
En el cloruro de hidrógeno (HCl), el cloro ejerce mayor atracción sobre el par de electrones compartidos que el hidrógeno, por lo cual dicho par permanece más tiempo en las proximidades del cloro que en las del hidrógeno. Entonces, la región correspondiente al cloro adquiere una cierta carga negativa (δ^-) y, por el contrario, la zona del hidrógeno manifiesta una carga igual pero de signo positivo (δ^+):



Por lo tanto, la molécula tiene una distribución desigual de las cargas eléctricas, presentando un polo negativo y otro positivo. Es una **molécula polar**.

Molécula de hidrógeno.
(Distribución uniforme de las cargas eléctricas).

Estas moléculas son parcialmente iónicas y también se las denomina **dipolos**, pudiendo representarse en forma simplificada del siguiente modo:



En consecuencia, según que el par de electrones sea compartido de modo igual o desigual por ambos átomos, la **unión covalente es no polar o polar**.

Toda unión entre átomos diferentes es más o menos polar. La polaridad de las moléculas formadas depende de los elementos que las constituyen. Así, es mayor en la unión del cloro con el hidrógeno que en el caso del bromo con el hidrógeno. Estas diferencias se deben a una propiedad periódica que ya hemos mencionado: la electronegatividad.

¿Qué es la electronegatividad?

Con relación a la mayor o menor capacidad que presentan los átomos para atraer los electrones que comparten en una unión electrovalente, se ha introducido el concepto de electronegatividad, que puede definirse así:

Electronegatividad es la capacidad que posee un átomo para atraer al par de electrones que comparte en una molécula covalente.

Los átomos que atraen con mayor intensidad al par de electrones compartidos son más electronegativos y corresponden a los no metales, como F, Cl, O, S, etcétera.



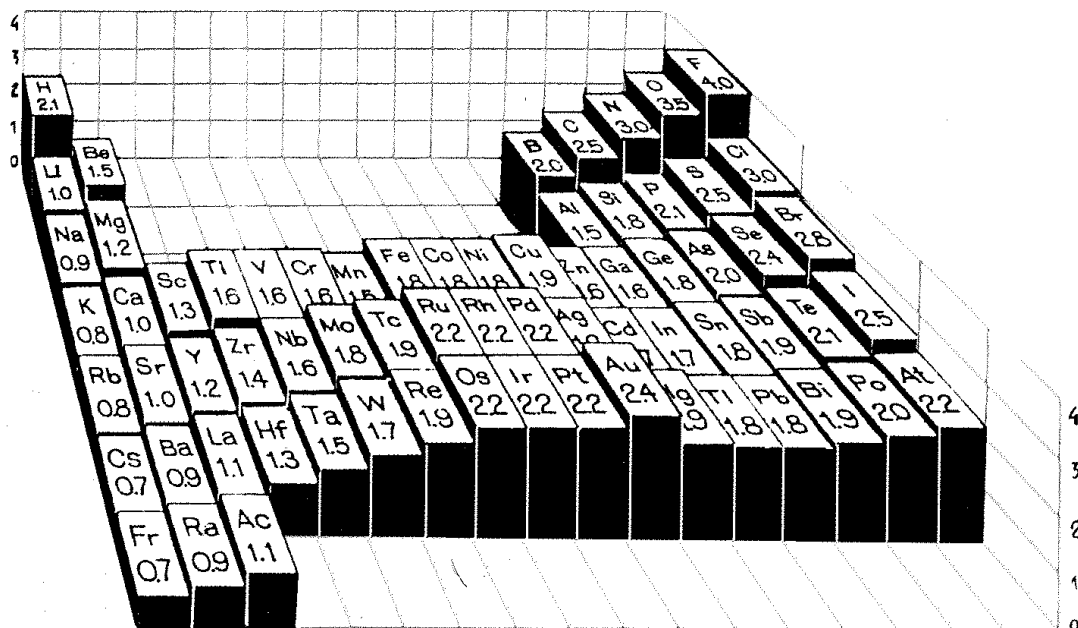
El químico norteamericano Linus Pauling confeccionó una tabla de las electronegatividades de los elementos. El más electronegativo es el flúor, con un valor de 4,0, y el menos electronegativo es el francio con 0,7.

Entre los no metales, el hidrógeno tiene el valor más bajo con 2,1.

Los metales presentan una electronegatividad inferior a la del hidrógeno.

Los gases inertes no se incluyen en la tabla porque generalmente no forman uniones químicas.

A continuación se transcribe la Tabla de electronegatividades de los elementos:



¿Cómo puede predecirse el tipo de unión?

Los valores de electronegatividad permiten predecir el tipo de unión química que se establece entre los elementos. Cuando la diferencia de electronegatividad es grande, cabe esperar que el enlace sea iónico; así el sodio (0,9) y el cloro (3,0) forman un compuesto iónico. Por el contrario, si la diferencia de electronegatividad es pequeña, el compuesto que se forma es covalente.

Una de las condiciones necesarias para que un compuesto sea iónico es que la diferencia de electronegatividad sea mayor de 1,7. En cambio, si la diferencia de electronegatividad es menor, el compuesto será covalente.

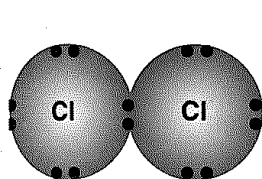
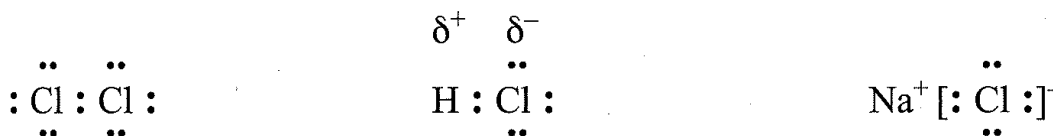
La electronegatividad también es útil para predecir la polaridad de los enlaces covalentes. Cuando la diferencia de electronegatividad es menor de 0,4 la unión es covalente no polar. En cambio, si dicha diferencia es mayor que 0,4, la unión será covalente polar.

El criterio antes expuesto no es absoluto y sólo sirve de orientación, pues existen muchos otros factores que determinan el tipo de unión química.

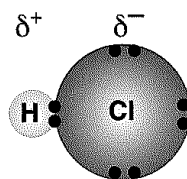
Diferencia de electronegatividad	Tipo de unión
0 a 0,4	Covalente no polar.
0,4 a 1,7	Covalente polar.
más de 1,7	Iónica.

2.2.2.4. Transición de la unión covalente a la iónica

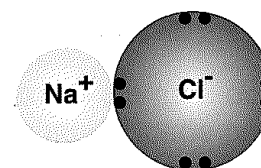
En los siguientes ejemplos:



Cloro



Cloruro de hidrógeno



Cloruro de sodio

Se puede observar que:

- Cuando los átomos que se unen tienen la misma electronegatividad –como en el caso de la molécula de cloro– presentan la misma capacidad para atraer el par de electrones que comparten y, en consecuencia, la unión que establecen es covalente no polar (forman moléculas no polares).
- A medida que la diferencia de electronegatividad entre los átomos se incrementa, también va aumentando la polaridad de la unión (enlace covalente polar). Entonces, la molécula es polar y parcialmente iónica, como se manifiesta en el cloruro de hidrógeno, en el cual la diferencia de electronegatividad entre el H y el Cl es de 0,9.
- Si la diferencia de electronegatividad es aún mayor –como entre el cloro y el sodio–, el par de electrones deja de estar compartido para ser captado exclusivamente por el elemento de mayor electronegatividad (en el ejemplo, el cloro), formándose un anión y un catión. Estos se atraen por tener fuerzas electrostáticas diferentes y el enlace que se establece es iónico.

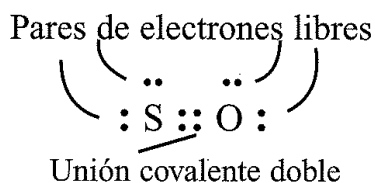
En suma, no existe un límite definido entre la unión covalente y la unión iónica porque el tipo de enlace resultante depende de la diferencia de electronegatividad entre los elementos que se unen.

2.2.2.5. ¿Cuál es el enlace o unión covalente coordinada?

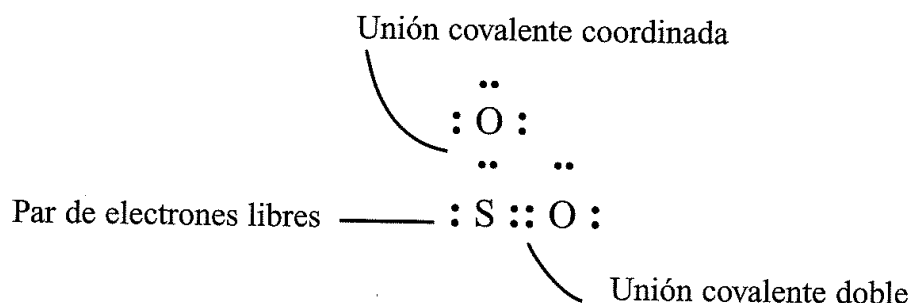
En algunos compuestos se observa otra forma de unión covalente, en la cual el par de electrones que comparten es aportado por uno solo de los átomos.

Para comprender este tipo de unión, procederemos a analizar el caso del azufre que tiene la propiedad de formar tres óxidos: monóxido de azufre (SO), dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre (SO₃).

En el **monóxido de azufre (SO)**, como el azufre y el oxígeno tienen seis electrones en su órbita externa, proceden a compartir dos pares de electrones para completar su octeto externo, formando un *enlace covalente doble*:

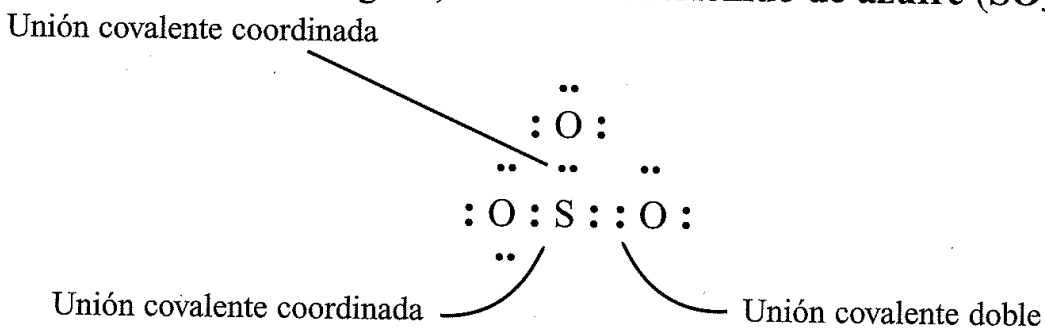


Como al azufre le quedan dos pares de electrones sin compartir, puede utilizar uno de ellos para unirse a otro de oxígeno, formándose el **dióxido de azufre (SO₂)**:



En este compuesto se observa una *unión covalente doble* y otra *unión covalente coordinada*.

Al azufre aún le queda un par de electrones libres que puede compartir con otro átomo de oxígeno, formando el **trióxido de azufre (SO₃)**:



En este caso hay una *unión covalente doble* y *dos uniones covalentes coordinadas*.

Todas las *uniones* en que se comparten electrones reciben el nombre de *covalentes*, pero cuando el par de electrones compartidos es aportado por uno solo de los átomos, se las distingue con la denominación de **enlace o unión covalente coordinada**.

El átomo que aporta el par electrónico que se comparte se llama **dador** y el átomo que acepta compartirlo, **aceptor**.

Las propiedades de los compuestos covalentes

En las sustancias que presentan enlace o unión covalente se observan las siguientes propiedades:

- Los puntos de fusión y de ebullición son bajos (menos de 300 °C) porque las fuerzas que mantienen unidas entre sí a las moléculas generalmente son débiles.
- Son solubles en solventes orgánicos no polares, tales como éter, cloroformo, sulfuro de carbono, nafta, etcétera. Generalmente, son insolubles en agua, aunque la solubilidad en ésta depende de la polaridad de la molécula. Cuanto mayor es la polaridad, mayor es la solubilidad en agua.
- No conducen la corriente eléctrica pues carecen de iones.
- Presentan estructura cristalina atómica o molecular.
- Forman moléculas que se sólo se mantienen unidas por fuerzas débiles, denominadas **fuerzas de Van der Waals**.

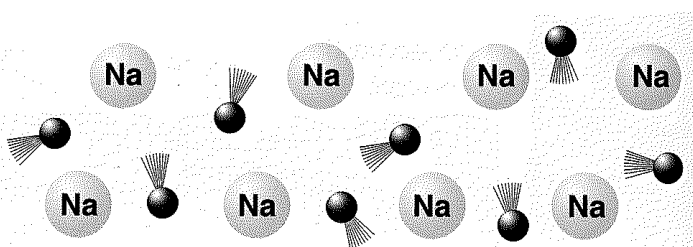
2.2.3. *El enlace o unión metálica*

Esta forma de unión se produce entre los átomos de los metales. Como ya se ha señalado, los átomos de los metales tienen menos de cuatro electrones en su última órbita y pueden perderlos con relativa facilidad, en cuyo caso se convierten en iones positivos (cationes). Entonces, los electrones no pertenecen a ningún átomo en particular, pasan de un átomo neutro a un catión que se convierte en un átomo neutro, el que a su vez, puede ceder un electrón y convertirse nuevamente en un catión.

Por este motivo, se considera que una porción de metal está constituida por una red de cationes, entre los cuales se mueven con bastante libertad los electrones, formando una “nube” o “mar de electrones”. La unión se establece entre los iones metálicos con carga positiva y la nube electrónica con carga negativa.

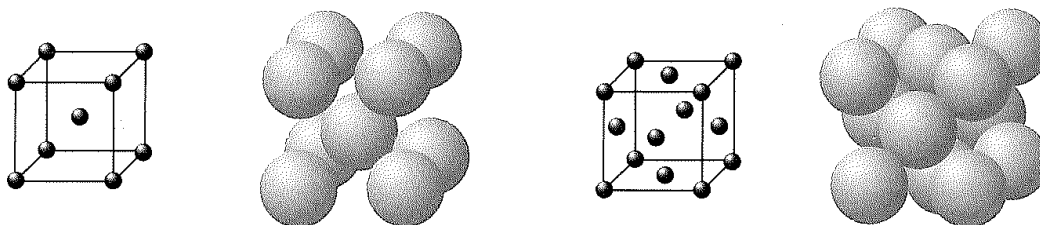
Así, por ejemplo, un trozo de sodio está constituido por millones de cationes de Na^+ que se mantienen unidos por la nube electrónica

formada por los electrones libres de la órbita externa.



Entonces, los metales pueden considerarse como un enrejado o red de iones positivos sumergida en un “mar de electrones”.

Cuando los metales están en estado sólido, sus átomos forman redes cristalinas semejantes a las redes iónicas. Las redes cristalinas metálicas más frecuentes son la cúbica centrada en el cuerpo, la cúbica centrada en las caras y la hexagonal compacta:



Red cúbica centrada en el cuerpo.

Red cúbica centrada en las caras.

En las redes cristalinas metálicas, al igual que en los compuestos iónicos, no es posible reconocer moléculas. En realidad, todos los cationes que hay formando el cristal constituyen un agregado único, una “molécula gigante”.

Las propiedades de los metales

Los metales se caracterizan por presentar propiedades tales como:

- **Brillo característico.** Este brillo se debe a la movilidad de los electrones. La luz que incide sobre un metal es absorbida por los electrones libres que se mueven rápidamente emitiendo energía radiante que se aprecia como brillo.
- **Conductividad eléctrica.** La corriente eléctrica es el desplazamiento de los electrones; éstos al llegar a un trozo de metal repelen los electrones externos libres de dicho metal por tener carga de igual signo y hacen que circulen a través del mismo.
- **Maleabilidad y ductilidad.** La facilidad con que pueden deslizarse unas capas sobre otras hace que sea muy fácil producir láminas delgadas o hilos metálicos.
- **Insolubilidad.** Los metales no se disuelven en ninguno de los solventes conocidos.
- **Cristales.** La red cristalina está constituida por iones positivos dentro de una “nube electrónica”.

En síntesis:

Unión iónica: se observa entre átomos de metales y no metales porque entre ellos existe una elevada diferencia de electronegatividad. El átomo más electronegativo le quita uno o más electrones al átomo menos electronegativo. De esa manera, los electrones que intervienen en el enlace son atraídos por uno solo de los núcleos atómicos. Se originan *cationes* y *aniones*; por lo tanto, se forman compuestos *iónicos*.

Unión covalente: se produce entre átomos de no metales, es decir, de elementos con electronegatividad elevada. Comparten uno o más pares de electrones que son atraídos por los dos núcleos atómicos. Los grupos atómicos resultantes son *moléculas* propiamente dichas. El enlace covalente puede ser *no polar* o *polar* y también *covalente coordinado*.

Unión metálica: Se encuentra entre átomos de metales, es decir, de elementos de baja electronegatividad. Los electrones externos son poco atraídos por los núcleos atómicos por lo cual permanecen relativamente libres entre la *red de cationes metálicos*. Entonces, los electrones que participan en la unión no pertenecen a ningún átomo en particular sino a toda la estructura cristalina que es muy compacta.

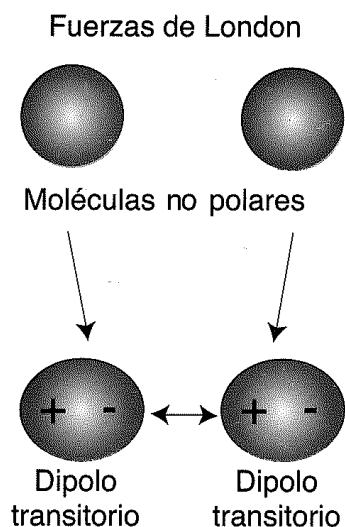
Fuerzas Intermoleculares

3.3. Atracciones entre las moléculas

Como consecuencia de la estructura que presentan las distintas moléculas se producen entre ellas diferentes fuerzas de atracción. Estas fuerzas son de distinta intensidad y mantienen más o menos unidas las moléculas entre sí, determinando las propiedades que caracterizan a las distintas sustancias, tales como: estado de agregación, punto de ebullición, solubilidad, etcétera. Así, la mayor o menor atracción que se establece entre las moléculas contribuye a que una sustancia se encuentre a la temperatura ambiente en estado sólido, líquido o gaseoso.

Aunque en un líquido las moléculas se mueven con cierta libertad y tienen una disposición más desordenada que en un sólido, en los dos casos son atraídas entre sí por fuerzas de atracción electrostática. Si bien las interacciones moleculares son más débiles que los enlaces químicos, es necesario calentarlas (entregarles energía en forma de calor) para vencerlas y hacer que las sustancias pasen al estado gaseoso. Las fuerzas de atracción intermoleculares se denominan **fuerzas de Van der Waals**, entre las cuales se pueden mencionar: las **fuerzas de London**, **dipolo-dipolo inducido**, **dipolo-dipolo** y **unión puente de hidrógeno**.

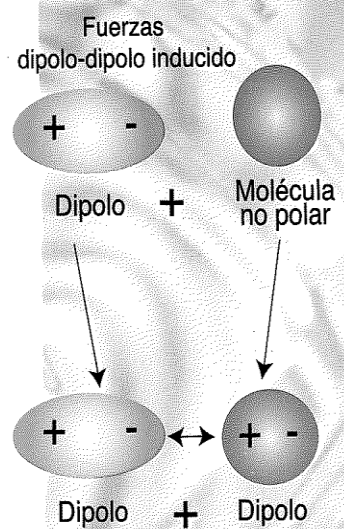
3.3.1. Las fuerzas de London



En las *moléculas no polares* puede producirse transitoriamente un desplazamiento relativo de los electrones originando un polo positivo y otro negativo (**dipolo transitorio**) que determinan una atracción entre dichas moléculas. (El polo positivo de una molécula atrae al negativo de otra y viceversa.) Estas fuerzas de atracción son muy débiles y se denominan **fuerzas de London**. Su intensidad es proporcional al grado de polarización momentáneo que se produce en las moléculas. En los gases inertes (He, Ne, Ar, etcétera) las fuerzas de London se manifiestan a muy bajas temperaturas, ocasionando la licuación de dichos gases.

3.3.2. ¿Cuáles son las fuerzas dipolo-dipolo inducido?

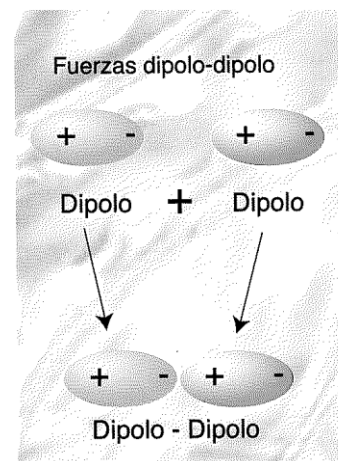
En ciertas ocasiones, una *molécula polar* (dipolo), al estar próxima a otra *no polar*, induce en ésta un dipolo transitorio, produciendo una fuerza de atracción intermolecular llamada **dipolo-dipolo inducido**. Así, la molécula del agua, que es un **dipolo**, produce una pequeña polarización en la molécula no polar de oxígeno, la cual se transforma en un **dipolo inducido**. Esto hace que pequeñas cantidades de oxígeno se disuelvan en el agua. De un modo parecido, el dióxido de carbono también presenta cierta solubilidad en solventes polares como el agua.



3.3.3. Las fuerzas dipolo-dipolo

Cuando *dos moléculas polares* (dipolos) se aproximan, se produce una atracción entre el polo positivo de una de ellas y el negativo de la otra. Esta fuerza de atracción entre **dos dipolos** es tanto más intensa cuanto mayor es la polarización de dichas moléculas polares.

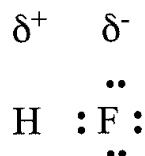
Estas fuerzas de atracción, llamadas **dipolo-dipolo**, se observan en las moléculas formadas por unión covalente polar, como el dióxido de azufre (SO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), etcétera. Estas sustancias de elevada polaridad se disuelven en solventes polares, tales como el agua. Entre las fuerzas dipolo-dipolo tienen particular importancia la unión puente de hidrógeno.



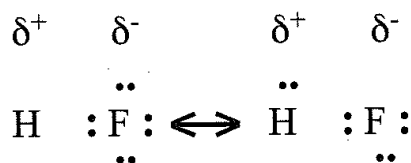
3.3.3.1. La unión puente de hidrógeno

En ciertas sustancias, constituidas por un elemento muy electronegativo y el hidrógeno, tales como el fluoruro de hidrógeno (HF) y el agua (H₂O), se observa una forma de atracción entre sus moléculas, denominada **unión puente de hidrógeno**.

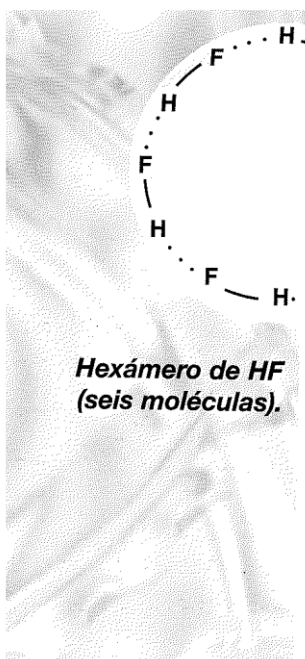
En el caso del HF las moléculas son covalentes polares, como consecuencia de la diferencia de electronegatividad que existe entre el hidrógeno y el flúor:



Esta polarización provoca la atracción de la zona positiva de una molécula con la zona negativa de otra:



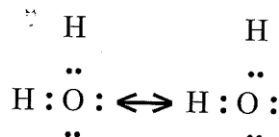
De este modo, se puede considerar que el hidrógeno forma un puente entre dos átomos de flúor y de allí proviene el nombre de *unión puente de hidrógeno*.



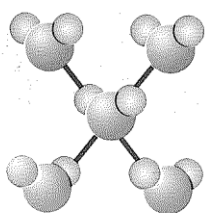
Así se forman cadenas moleculares de fluoruro de hidrógeno donde los átomos de hidrógeno vinculan entre sí a los de flúor:

El caso del agua

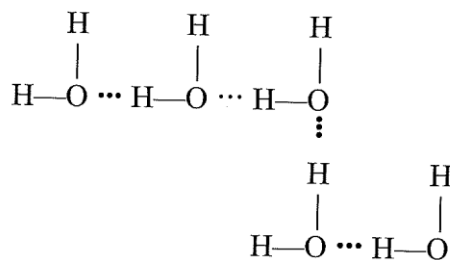
Las moléculas de agua también son dipolos a causa de la diferencia de electronegatividad entre el oxígeno y el hidrógeno, y pueden formar uniones puente de hidrógeno:



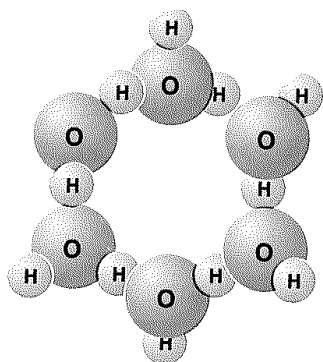
Como consecuencia de esta fuerza de atracción, las moléculas de agua se agrupan formando conglomerados de masa relativamente alta:



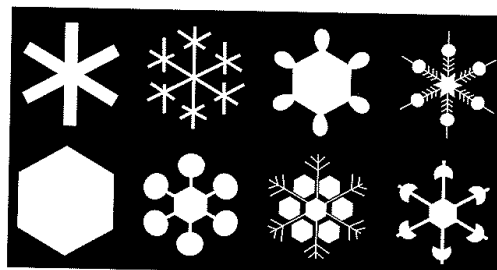
Los hidrógenos de las moléculas de agua interactúan con los oxígenos de las otras moléculas de agua.



El agua, al solidificarse, aumenta el número de sus uniones puente de hidrógeno y las moléculas se disponen formando retículos en las tres dimensiones del espacio quedando espacios vacíos hexagonales, según se observa en la siguiente representación:



Hexámero de agua.



Cristales de hielo.

Entonces, el hielo tiene una estructura abierta y porosa, por lo cual su **densidad** es menor que la del agua líquida y flota en ella. Esta propiedad es atípica, pues generalmente las sustancias tienen mayor densidad en estado sólido que en líquido.

La experiencia ha demostrado que los **puntos de ebullición** de las sustancias son más elevados cuanto mayores son sus masas moleculares. El agua, con una masa molecular de sólo 18, también debería ser un gas. Sin embargo, como consecuencia de la formación de conglomerados moleculares por la unión puente de hidrógeno, su punto de ebullición se eleva a 100 °C y entonces a la temperatura ambiente es líquida. Por cierto, si no existieran estas uniones, el agua se encontraría en estado gaseoso y en la Tierra no podría hallarse la vida tal cual la conocemos.

Lectura complementaria

Las sustancias covalentes

Las sustancias moleculares

Las sustancias que presentan sus átomos unidos por enlaces covalentes constituyendo moléculas bien definidas y diferenciadas, se denominan **sustancias moleculares**.

Entre las moléculas se establecen fuerzas de atracción débiles, denominadas **fuerzas de Van der Waals**. A la temperatura ambiente, estas sustancias se pueden hallar en cualquiera de los tres estados de agregación:

- a) Gases, tales como el oxígeno (O_2), el dióxido de carbono (CO_2) y el nitrógeno (N_2), que son los principales componentes de la atmósfera.
- b) Líquidos, tales como el agua, el alcohol etílico, la acetona, los aceites, etcétera.
- c) Sólidos, tales como el azúcar común, las grasas, la naftalina, el yodo, etcétera. En general, los sólidos moleculares son blandos y con poca resistencia mecánica.

Los puntos de fusión y de ebullición de las sustancias moleculares son relativamente bajos (menos de 300 °C). Asimismo, son malos conductores del calor y de la electricidad.

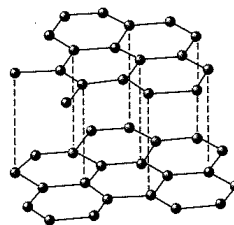
La solubilidad de estas sustancias está relacionada con la polaridad de sus moléculas.

Cuando tienen moléculas polares, como el azúcar y el alcohol etílico, se disuelven en solventes polares, tales como el agua. En cambio, si son sustancias no polares, tales como el yodo, no son solubles en el agua, pero sí en solventes no polares, como, por ejemplo, el tetracloruro de carbono (CCl_4).

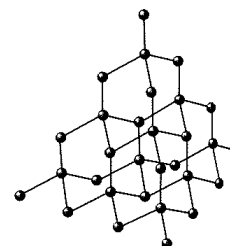
Redes covalentes atómicas

Ciertas sustancias, tales como el diamante, el grafito y el fullereno, son sólidos que tienen átomos del mismo elemento químico unidos por enlaces covalentes, conformando una red cristalina tridimensional.

En general, sus puntos de fusión son elevados, no conducen la corriente eléctrica (el grafito es una excepción) y son insolubles en agua.



Grafito.



Diamante.

Macromoléculas o polímeros

Las macromoléculas o polímeros son moléculas muy grandes formadas por la unión de un elevado número de moléculas más pequeñas (monómeros) generalmente iguales.

La mayoría de las macromoléculas existentes son compuestos covalentes. Entre ellas tenemos:

a) **Macromoléculas biológicas o biopolímeros:** Son macromoléculas naturales fundamentales para la vida en nuestro planeta, tales como los polisacáridos, las proteínas y los ácidos nucleicos (ARN y ADN).

b) **Polímeros sintéticos:** Son sustancias obtenidas artificialmente de gran utilidad en la vida actual, tales como los plásticos y las siliconas.

En general, las macromoléculas son sólidas a la temperatura ambiente, con puntos de fusión y ebullición relativamente bajos.

Actividades

Problema n° 1: La unión covalente se forma cuando:

- a) Se comparten electrones aportados por un solo elemento.
- b) Un átomo pierde electrones y el otro lo recibe.
- c) Se comparten electrones entre dos átomos, aportando electrones cada elemento.
- d) Existen iones en un compuesto.

Problema n° 2: Los compuestos con unión química covalente tienen, en general las siguientes características:

- a) Son a presión y temperatura normal, gases o líquidos de bajo punto de ebullición o sólidos de bajo punto de fusión.

- b) Forman moléculas.
- c) No conducen la corriente eléctrica.
- d) Sólo fundidos son conductores de la corriente eléctrica.

Problema nº 3: En la unión covalente coordinada hay:

- a) Participación de un par de electrones, aportado por un solo elemento.
- b) Un átomo dador y otro receptor.
- c) Coparticipación de un par de electrones, aportando cada átomo un electrón.
- d) Formación de iones, ya que un átomo pierde electrones y otro lo gana.

Problema nº 4: Las uniones químicas se forman para que:

- a) Los átomos tengan una configuración estable.
- b) Los átomos adquieran la configuración electrónica de los gases raros.
- c) Los átomos se encuentran rodeados de 8 electrones en su última órbita.
- d) Todas las respuestas son correctas.

Problema 5: Escribir las estructuras de Lewis de los siguientes compuestos, determinando primero si son iónicos o covalentes:

- | | |
|---|--|
| (a) CsCl (cloruro de cesio) | (c) Na ₂ O (óxido de sodio) |
| (b) CaF ₂ (fluoruro de calcio) | (d) Ca ₃ N ₂ (nitruro de calcio) |

Problema 6: Emplear puntos y asteriscos para indicar los electrones y representar las estructuras de:

- | | |
|--|---|
| a) Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂). | e) Óxido de sodio (Na ₂ O). |
| b) Cloro (Cl ₂). | f) Amoníaco (NH ₃). |
| c) Fosgeno (COCl ₂). | g) Cloruro de amonio (NH ₄ Cl) |
| d) Trióxido de dinitrógeno (N ₂ O ₃). | |

Problema 7: Escribir las estructuras de Lewis de los siguientes compuestos diferenciando las uniones covalentes (simples, dobles o triples):

- | | |
|-----------------------|---------------------|
| (a) CO ₂ | (c) NH ₃ |
| (b) CHBr ₃ | (d) CH ₄ |

Problema 8: Teniendo en cuenta las electronegatividades, determinar cuáles de las siguientes sustancias pueden considerarse iónicas y cuáles covalentes:

- | | |
|---|--|
| (a) SrF_2 (fluoruro de estroncio) | (e) N_2 (nitrógeno) |
| (b) PH_3 (fosfina) | (f) BeCl_2 (cloruro de berilio) |
| (c) K_2O (óxido de potasio) | (g) BrH (bromuro de hidrógeno) |
| (d) Cl_2O (óxido hipocloroso) | (h) CO_2 (dióxido de carbono) |

Problema 9: Dados los elementos A ($z=9$), B ($z=17$) y C ($z=11$) de los compuestos AB y AC, se puede afirmar que:

- a) Ambos son iónicos.
- b) Ambos son covalentes.
- c) AC es covalente y AB es iónico.
- d) AC es iónico y AB es covalente.

Problema 10: Indique cuál de las siguientes afirmaciones es verdadera o falsa. Justifique todas sus respuestas:

- a) Un enlace Covalente Polar se da entre elementos con una gran diferencia de electronegatividad.
- b) En un enlace Iónico ocurre una transferencia de electrones de un elemento a otro.
- c) Para que un enlace Covalente Dativo se produzca, es necesario la presencia de dos iones de distinto signo.

Problema 11: Si un elemento del grupo I-A se une con un elemento del grupo VI-A, ¿qué tipo de enlace se forma? ¿Por qué?

Problema 12: Ordenar las siguientes uniones de mayor a menor polaridad.

- | | | |
|---------------------|----------------------|---------------------|
| a) I-Cl , F-B , N-O | B) H-Cl , NaCl, P-Cl | c) H-F , F-F , Be-F |
|---------------------|----------------------|---------------------|

Problema 13: Determina la estructura de Lewis que forman las siguientes parejas de elementos

- a) El Na ($Z=11$) con el F ($Z=9$)
- b) El Ca ($Z=20$) con el Cl ($Z=17$)

Problema 14: Para el elemento de $Z=56$, responda:

- a) Tiene tendencia a dar cationes o aniones?.

b) Que formula mínima tiene el compuesto que forma con 17-Cl?

c) Que tipo de unión hay en dicho compuesto?

d)Cuál es la estructura de Lewis del compuesto formado?

Problema 15: Un elemento del grupo 16 se combina consigo mismo.

¿Qué tipo de unión forma? Haga la estructura de Lewis de dicha molécula.

Problema 16: El elemento O pertenece al 2 período y grupo 16 de la tabla periódica. El elemento X tiene número atómico 16.

a) Escriba la configuración electrónica para cada elemento.

b) Qué tipo de unión existe entre los átomos de un compuesto formado por O y X? ¿Por qué?

c) Escriba la estructura de Lewis y la fórmula desarrollada del compuesto XO_2 . Indique tipo de uniones.

d) Dar la estructura de Lewis del compuesto Na_2XO_3 .

Problema 17: En cuál de las siguientes sustancias se puede esperar la presencia de enlaces puentes de hidrogeno?

A) PCl_3

C) NaCl

E) H_2O

B) NH_3

D) HBr

F) CH_4

Problema 18: Clasifica los siguientes compuestos como iónicos, covalentes polares y no polares.

a) Li_2O

c) MgF_2

e) PCl_3

b) CF_4

d) CaCl_2

Problema 19: Con las estructuras de Lewis, muestre la transferencia de electrones entre los siguientes átomos para formar cationes y aniones.

a) Na y F

c) Ba y O

b) K y S

d) Al y N

Problema 20: ¿Cuál de los siguientes enlaces es polar? ¿Cuál es el elemento más electronegativo en cada enlace polar?

a) B-F

b) Cl-Cl

c) Se-O

