



---

# QUIMICA II

## Contenido

<b>BLOQUE1</b> .....	3
<b>APLICAS LA NOCIÓN DE MOL EN LA CUANTIFICACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS DE TU ENTORNO</b> .....	3
<b>1.1 MOL</b> .....	3
<b>1.2 LEYES PONDERALES</b> .....	6
<b>1.3 COMPOSICIÓN PORCENTUAL Y SU RELACIÓN CON LA FORMULA EMPÍRICA Y MOLECULAR</b> .....	9
<b>1.4 CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS</b> .....	12
<b>1.5 REACTIVO LIMITANTE</b> .....	17
<b>1.6 IMPLICACIONES ECOLÓGICAS, INDUSTRIALES Y ECONÓMICAS DE LOS CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS</b> .....	19
<b>BLOQUE 2</b> .....	22
<b>ACTÚAS PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE, DEL AGUA Y DEL SUELO</b> .....	22
<b>2.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE</b> .....	22
Contaminación del suelo .....	24
<b>2.2 ORIGEN</b> .....	25
<b>2.3 INVERSIÓN TÉRMICA</b> .....	37
<b>2.4 ESMOG</b> .....	38
<b>2.5 LLUVIA ÁCIDA</b> .....	40
<b>BLOQUE 3</b> .....	42
<b>COMPRENDES LA UTILIDAD DE LOS SISTEMAS DISPERSOS</b> .....	42
<b>3.1 CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA</b> .....	42
<b>3.2 MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE MEZCLAS</b> .....	43
<b>3.3 SISTEMAS DISPERSOS</b> .....	45
<b>3.4 UNIDADES DE CONCENTRACIÓN DE LOS SISTEMAS DISPERSOS</b> .....	54
<b>3.5 ÁCIDOS Y BASES</b> .....	58
<b>BLOQUE 4</b> .....	67
<b>VALORAS LA IMPORTANCIA DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO EN TU VIDA DIARIA Y ENTORNO</b> .....	67
<b>4.1 CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA Y GEOMETRÍA MOLECULAR DEL CARBONO</b> .....	67
<b>4.2 TIPOS DE CADENA E ISOMERÍA</b> .....	75

<b>4.3 CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES FÍSICAS Y NOMENCLATURA GENERAL DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS.....</b>	<b>81</b>
<b>4.4 IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO .....</b>	<b>120</b>
<b>BLOQUE 5 .....</b>	<b>125</b>
<b>IDENTIFICAS LA IMPORTANCIA DE LAS MACROMOLÉCULAS NATURALES Y SINTÉTICAS.....</b>	<b>125</b>
<b>5.1 MACROMOLÉCULAS, POLÍMEROS Y MONÓMEROS.....</b>	<b>125</b>
<b>5.2 MACROMOLÉCULAS NATURALES .....</b>	<b>126</b>
<b>5.3 MACROMOLÉCULAS SINTÉTICAS .....</b>	<b>157</b>

# BLOQUE1

## APLICAS LA NOCIÓN DE MOL EN LA CUANTIFICACIÓN DE PROCESOS QUÍMICOS DE TU ENTORNO

### UNIDAD DE COMPETENCIA

- Elegira las fuentes de información más relevantes para establecer la interrelación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente en contextos históricos y sociales específicos.
- Fundamentara opiniones sobre los impactos de la ciencia y la tecnología en su vida cotidiana, asumiendo consideraciones éticas de sus comportamientos y decisiones.
- De manera general o colaborativa, identificara problemas, formulara preguntas de carácter científico y planteara las hipótesis necesarias para responderlas.

### 1.1 MOL

Cuando se adquiere algún producto se hace por su unidad de medida o de venta. Así, cuando se compra arroz, frijol o azúcar, su unidad de medida es el kilo. La gasolina, el agua o el alcohol se compran por litro; algunos otros, como los desodorantes, cremas dentales, jabones, se compran por pieza [Ilustración 1.1]

Dependiendo del tipo de producto existe una unidad de medida para su venta. ¿Pero sabes cuál es la unidad de medida para pesar o contar átomos, moléculas, iones o cualquier otra partícula subatómica?

Contar o pesar estos u otros tipos de especies químicas no fue fácil. Para lograrlo y establecer una unidad de medida se hicieron muchos experimentos hasta llegar a establecer al mol como la unidad del Sistema Internacional (SI) para medir cantidad de sustancia, magnitud que designaremos con la letra  $n$ .

*El mol se define como la cantidad de sustancia de un sistema material que contiene tantas entidades elementales ( $N$ ) como átomos hay en 0.012 kg del isótopo de carbono-12. Cuando se usa el mol las entidades elementales deben ser especificadas, pudiendo ser átomos, moléculas, iones, electrones u otras partículas o agrupaciones específicas de ellas.*



**Ilustración 1.1** Todos los productos tienen una unidad de medida. ¿Cómo saber cuántos granos de arroz hay en un kilo y cuánto pesa cada grano? ¿O cuántas moléculas de agua hay en una botella de 600ml?

Resultado de las diversas investigaciones, se llegó a concluir que en 0.012 kg del isótopo carbono- 12 hay  $6.022 \times 10^{23}$  átomos, por lo que un mol contiene  $6.022 \times 10^{23}$  unidades elementales.

Así:

- Un mol de átomos de carbono contiene  $6.022 \times 10^{23}$  átomos de carbono
- Un mol de moléculas de bióxido de carbono contiene  $6.022 \times 10^{23}$  moléculas de bióxido de carbono.
- Un mol de cualquier sustancia contiene  $6.022 \times 10^{23}$  partículas unitarias de esa sustancia.

El valor  $6.022 \times 10^{23}$ ; se conoce como **número de Avogadro ( $N_A$ )** en honor de Amadeo Avogadro, físico italiano que en 1811 determinó el volumen de un mol de gas. Una dificultad para comprender este valor es su tamaño. Escrito en forma normal, su magnitud es:

$$6.022 \times 10^{23} = 602\,200\,000\,000\,000\,000\,000\,000$$

Para que tengas una idea de la magnitud del número de Avogadro, analiza el **Esquema 1.1** y la **Ilustración 1.2**.

**6 x 10<sup>23</sup>**

- Una pila de papel que tuviese  $6 \times 10^{23}$  hojas sería tan alta que llegaría de la Tierra al Sol, ¡pero no sólo una vez sino más de un millón de veces!
- Si extendieras  $6 \times 10^{23}$  granos de arena diminutos sobre todo el estado de California, la capa de arena tendría la altura de un edificio de diez pisos.
- Una computadora moderna capaz de hacer 100 millones de cuentas por segundo necesitaría casi 200 millones de años para contar hasta  $6 \times 10^{23}$ .
- $6 \times 10^{23}$  pelotas de beisbol cubrirían la Tierra hasta una altura de más de 160 kilómetros.
- $6 \times 10^{23}$  segundos es un lapso equivalente a aproximadamente 4 millones de veces la edad de la Tierra.
- Si repartiesen por igual  $6 \times 10^{23}$  centavos de dólar entre todos los habitantes de la Tierra, cada uno de nosotros tendría tanto dinero que podría gastar un millón de dólares cada hora, de día y de noche, durante toda su vida, y no habría comenzado siquiera a gastar ese dinero. Obviamente, nadie podría vivir realmente debajo de todas esas monedas, cada hectárea del planeta quedaría cubierta por unas 24 toneladas de monedas.
- Se necesitaría más de 100 000 años para que pasen  $6 \times 10^{23}$  gotas de agua por las Cataratas del Niágara.
- Si pudieras viajar con la rapidez de la luz, te tomaría más de 62 000 millones de años recorrer  $6 \times 10^{23}$  kilómetros.



**Ilustración 1.2** Una pieza de carbón que pesa 12g equivale a un mol y en ella hay  $6.022 \times 10^{23}$  átomos de carbono.

**Esquema 1.1**  
Comparativo de la magnitud del número 6

$\times 10^{23}$

Elemento/compuesto	Masa atómica	Masa molar	No. De Partículas
Carbono (C)	12.011 uma	12.011 g/mol	6.0222 x 10 <sup>23</sup>
Dióxido de carbono(CO <sub>2</sub> )	44 uma	44 g/mol	
Sodio (Na)	22.999 uma	22.999 g/mol	
Cloro (Cl <sub>2</sub> )	71 uma	71 g/mol	

Datos experimentales han demostrado que la masa atómica de un elemento o la masa molecular de un compuesto expresada en uma es igual a su **masa molar**,

Sustancia	Agua
Masa	$m(\text{H}_2\text{O}) = 1\text{Kg} = 1\text{Kg}$
Volumen	$V(\text{H}_2\text{O}) = 1\text{dm}^3 = 1\text{L}$
Cantidad de sustancia	$n(\text{H}_2\text{O}) = 55.6\text{ mol}$
Número de partículas	$N(\text{H}_2\text{O}) = 334.8 \times 10^{23}\text{ moléculas}$

**M**, expresada en **gramos/mol** [Tabla 1.1].

Tabla 1.1 Relación entre la masa de un elemento o compuesto, su masa molar y el número de

Avogadro

Una sustancia puede expresarse de diferentes maneras, por ejemplo:

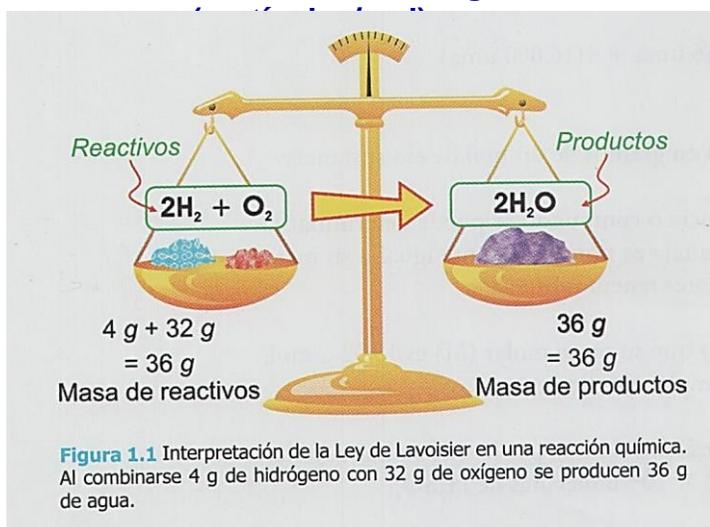
Unidades formula Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Número de átomos de Na	Número de átomos de C	Número de átomos de O
1	2	1	3
1 mol	2 mol	1 mol	3 mol
1(6.022 x 10 <sup>23</sup> )	2(6.022 x 10 <sup>23</sup> )	1(6.022 x 10 <sup>23</sup> )	3(6.022 x 10 <sup>23</sup> )

Una **fórmula química** indica la proporción entre el número de átomos diferentes presentes en el compuesto. Estas proporciones son las mismas tanto en átomos como en docenas de átomos, millones de átomos o moles de átomos, por ejemplo:

En química el **mol** es la conexión entre el mundo macroscópico y el microscópico, es decir, lo visible con lo que no podemos ver directamente, además de que permite contabilizar el número de **entidades elementales (N)**, en cualquier porción de sustancia al relacionarla con otras magnitudes más asequibles como la **masa (m)** o el **volumen (V)** [Esquema 1.2].

Del Esquema 1.2 tenemos que:

- n = Número de moles o cantidad de sustancia.**
- N = Número de partículas (átomos, moléculas, iones, electrones, etc.) que hay en una muestra de sustancia**
- N<sub>A</sub> = Número de Avogadro = 6.022 x 10<sup>23</sup>**



tancia.

## 1.2 LEYES PONDERALES

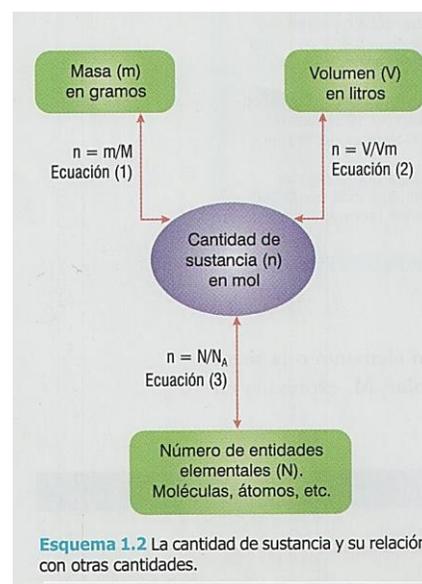
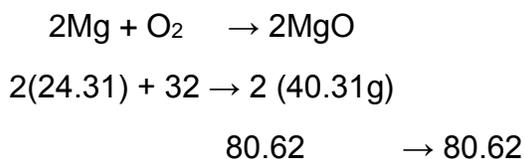
La **estequiometría** es una herramienta empleada en química para calcular las cantidades de reactivos y productos que intervienen en una reacción. Tiene sus bases en cuatro leyes conocidas como **leyes ponderales**, las cuales se explican a

continuación:

### Ley de Lavoisier o Ley de la Conservación de la Masa

Propuesta en 1875 por Antoine Lavoisier, en ella establece que la masa no se crea ni se destruye en una reacción química, es decir, en una reacción química la masa de los reactivos debe ser igual a la masa de los productos. [Figura 1.1]

Por ejemplo, en la reacción entre el magnesio y el oxígeno para formar óxido de magnesio:



Al balancear la ecuación se cumple con la Ley de la Conservación de la Masa, lo que se comprueba al sustituir la masa de cada átomo y multiplicarla por sus respectivos coeficientes y subíndices.

Hoy en día, y con base en la teoría atómica, esta ley se entiende también como: los átomos no se crean ni se destruyen en una reacción química, es decir, la cantidad de átomos de un elemento deberá ser la misma al inicio y final de una reacción: los cambios que se presentan durante una reacción comprenden solamente el reacomodo de los átomos.

### Ley de Proust o Ley de las Proporciones Definidas o Constantes

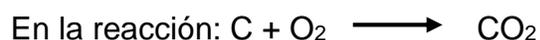
Propuesta por Joseph Louis Proust en 1799, establece que los elementos que se combinan para formar un compuesto siempre lo hacen en proporciones de masa definida y constante, y en relaciones sencillas.

Por ejemplo, en el agua los gramos de hidrógeno y los gramos de oxígeno están siempre en la proporción de 1g de H por 8g de O, independientemente del origen del agua.



$$\frac{4\text{gH}}{32\text{gO}} = \frac{1\text{gH}}{8\text{gO}}$$

Observa que la fracción se simplifica a su máxima expresión, es decir, a su relación más sencilla.



$$\frac{12\text{gC}}{32\text{gO}} = \frac{3\text{gC}}{8\text{gO}}$$

### Ley de Dalton o Ley de las Proporciones Múltiples

Propuesta por John Dalton en 1803, establece que si dos elementos A y B se combinan para formar varios compuestos distintos, mientras la masa de A permanece constante, las distintas masas de B varían en una proporción de números enteros y sencillos.

Por ejemplo, el carbono y el oxígeno se combinan para formar el CO y el CO<sub>2</sub>. En el primer caso 0.75g de C se combinan con 1g de O. en el segundo caso 0.375g de C se combinan con 1g de O. Si hacemos la relación 0.750/0.375, obtenemos un número entero sencillo, en este caso 2.

Para el CO:

$$\frac{12\text{gC}}{16\text{gO}} = \frac{X\text{gC}}{1\text{gO}} \quad X=0.75 \text{ g C}$$

Para el CO<sub>2</sub>:

$$\frac{12\text{gC}}{32\text{gO}} = \frac{X\text{gC}}{1\text{gO}} \quad X = 0.375 \text{ g C}$$

Al dividir

$$\frac{0.75}{0.375} = 2$$

### Ley de Richter-Wenzel o Ley de las Proporciones Recíprocas

Propuesta por Jeremias Benjamín Richter y Wenzel en 1972. Establece que las masas de dos elementos A y B que reaccionan con la misma masa de un tercer elemento C, guardan la misma proporción cuando esos elementos A y B se combinan entre sí.

Dicho de otra forma, si 10 g de A se combinan con 20 g de C, y 50 g de B, también se combinan con 20 g de C; entonces 10 g de A puede combinarse con 50 g de B, o hacerlo en proporciones de múltiplos o submúltiplos, es decir, 20 g de A con 100 g de B o 5 g de A con 25 g de B.

Por ejemplo, en la reacción  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \longrightarrow 2\text{NH}_3$ , 6 g de H se combinan con 28 g de N; si partimos de 1 g de H entonces se requieren 4.67 g de N:

$$\frac{28\text{gN}}{6\text{gH}} = \frac{X\text{gN}}{1\text{gH}} \quad X = 4.67 \text{ g N}$$

En la reacción  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ , 4g de H se combinan con 32 g de O; luego entonces, 1 g de H se combinan con 8 g de O.

$$\frac{32\text{gO}}{4\text{gH}} = \frac{X\text{gO}}{1\text{gH}} \quad X = 8 \text{ g O}$$

Según la ley de las proporciones recíprocas, 4.67 g de N deben reaccionar con 8 g de O, o con múltiplos de estos.

En la reacción:  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NO}$ ; 28 g de N se combinan con 32 g de O. Si multiplicamos 4.67 g por 6 se obtienen 28 g, y 28 es múltiplo de 4.67. De igual forma, si multiplicamos 8 g de O por 4 se obtienen 32 g de O, y 32 es múltiplo de 8.

## 1.3 COMPOSICIÓN PORCENTUAL Y SU RELACIÓN CON LA FORMULA EMPÍRICA Y MOLECULAR

### Cálculo de porcentajes

El término **por ciento** se refiere a la proporción en que están presentes los elementos que integran un conjunto. Por ejemplo, un grupo formado por 29 mujeres y 27 hombres, en total, 56 personas. Par calcular el porcentaje que representan la cantidad de mujeres y de hombres que hay en el grupo se hace la operación matemática siguiente:

$$\%mujeres = \frac{29}{56} \times 100 = 52\% \quad \%hombres = \frac{27}{56} \times 100 = 48\%$$

La suma de los porcentajes calculados debe ser igual al 100%

Cuando los químicos realizan un análisis cuantitativo de una muestra indican su composición en términos de porcentaje en masa. El **porcentaje en masa** de un elemento presente en un compuesto *equivale al número de gramos del elemento presentes en 100g del compuesto.*

Cuando se conoce la fórmula del compuesto que se analiza la masa de cada elemento presente en él se puede expresar en términos de porcentaje. En el caso inverso, si se conocen los elementos que constituyen un compuesto y el porcentaje en que están presentes, se puede determinar la fórmula del compuesto.

Para calcular el porcentaje en masa de un elemento que forma parte de un compuesto se requiere:

1. Escribir la fórmula del compuesto
2. Determinar la masa de un mol del compuesto (masa molar M).
3. Determinar la masa (m) en gramos de cada elemento presente en el compuesto.
4. Dividir la masa del elemento entre la masa molar del compuesto y multiplicar el cociente por 100.

Observa los ejemplos de la **Tabla 1.2**. En ella aparecen los porcentajes en masa para cada uno de los elementos que forman al agua y al metano. Recuerda que cuando se habla de porcentajes se hace referencia a 100 partes, pero también puede referirse a 100g de compuesto; así, podemos decir que en 100g de agua hay 11.21g de hidrogeno y 88.79g de oxígeno.

Fórmula del compuesto	Masa molar	Masa de cada elemento	% en masa,
H <sub>2</sub> O	18.02 g/mol	H = 2.02 g O = 16.00g	$H = \frac{m_H}{M_{H_2O}} \times 100 = \frac{2.02 \text{ g}}{18.02 \text{ g}} \times 100 = 11.21\%$ $O = \frac{m_O}{M_{H_2O}} \times 100 = \frac{16.00 \text{ g}}{18.02 \text{ g}} \times 100 = 88.79\%$
CH <sub>4</sub>	16.05 g/mol	H = 4.04 g C = 12.01 g	$H = \frac{4.04 \text{ g}}{16.05 \text{ g}} \times 100 = 25.17\%$ $O = \frac{12.01 \text{ g}}{16.05 \text{ g}} \times 100 = 74.83\%$

Tabla 1.2 Cálculo de la composición porcentual.

## Fórmula empírica y molecular

Si se conocen los porcentajes de los elementos que constituyen una sustancia se puede determinar su fórmula [Figura 1.2].

Los químicos han establecido dos tipos de fórmula: empírica y molecular.

La **fórmula empírica** (o fórmula mínima) proporciona la mínima relación de números enteros de los átomos de cada elemento presentes en un compuesto. Se obtiene con base en la composición porcentual, la cual se determina en forma experimental a partir del análisis del compuesto (**Esquema 1.3**)

La **fórmula molecular** proporciona el número real de átomos de cada elemento presentes en una molécula, y por lo general es un múltiplo de números enteros de la fórmula empírica.

En el caso de los compuestos acetileno (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) y benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), la relación numérica entre los átomos de C e H es de 2:2 y 6:6, respectivamente, y corresponde a la cantidad real de átomos en la molécula. Sin embargo, la relación más sencilla de los mismos átomos es de 1:1 en ambas moléculas. Observa que en los dos compuestos las fórmulas moleculares son múltiplos enteros de la fórmula empírica.

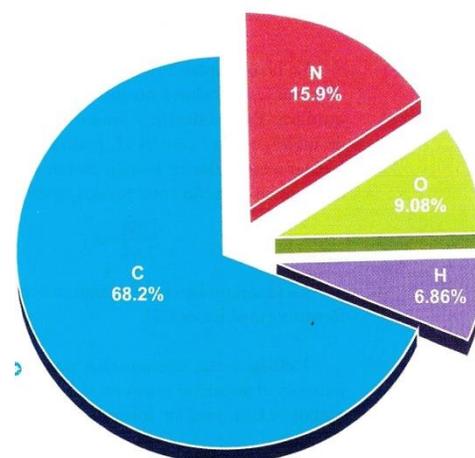
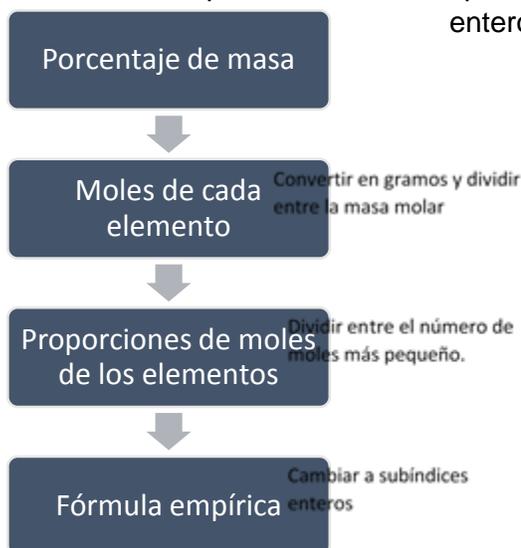


Figura 1.2 La serotonina es un compuesto que conduce los impulsos nerviosos en el cerebro. Su composición porcentual es 68.2% de C, 6.86% de H, 15.9% de N y 9.08 de O; su masa molar es de 176. g/mol. A partir de estos datos se obtiene su fórmula empírica y molecular siguiente C<sub>10</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>O.



**Esquema 1.1** Procedimiento para calcular la fórmula empírica de un compuesto a partir de su composición centesimal.

Mediante análisis se ha demostrado que tanto el acetileno como el benceno tienen la misma composición porcentual de carbono e hidrógeno [Tabla 1.3]. Estos porcentajes indican que *en una muestra de 100 g hay 92.3 g de carbono y 7.7 g de hidrógeno*.

Como vimos anteriormente (ecuación 1), la cantidad de sustancia o su número de moles  $n$  se obtienen al dividir la **masa (m)** en **gramos** entre la **masa molar (M)** expresada en **gramos/mol**. Mediante esta relación podemos calcular los moles que hay en la cantidad de masa de cada elemento, esto es:

$$n_C = \frac{92.3 \text{ g de C}}{12.01 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ de C}} = 7.68 \text{ moles} \qquad n_H = \frac{7.7 \text{ g de H}}{1.008 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{ de H}} = 7.63 \text{ moles}$$

La razón molar de los átomos de C respecto a los átomos de H es 7.68:7.63. Como puedes observar, estos valores no son enteros y no pueden usarse como subíndices en una fórmula química. Para convertir a enteros se debe reconocer que el elemento con el número menor de moles, en este caso el H, podría tener el subíndice más pequeño posible, que es 1. Para igualar a este valor se dividen ambos valores molares entre el valor de H (7.63). Al hacerlo así no cambias la razón entre los dos elementos porque ambos se dividen entre el mismo número:

$$\frac{7.68}{7.63} \approx 1 \qquad \frac{7.63}{7.63} = 1$$

	Acetileno	Benceno
Carbono	92.3%	92.3%
Hidrógeno	7.7 %	7.7 %

**Tabla 1.3** Composición porcentual de carbono e hidrógeno

La razón molar con el entero más pequeño de los átomos de C y H es 1: 1; por lo tanto, su fórmula empírica es CH.

Debido a esta composición porcentual la relación mínima entre los átomos de C y H, tanto en el acetileno como en el benceno es de 1:1, de manera que la fórmula empírica para ambos es CH, pero su fórmula molecular es diferente: acetileno  $C_2H_2$  y benceno  $C_6H_6$ .

Tal vez te preguntes cómo determinar la fórmula molecular de una sustancia. Esto se lleva a cabo determinando la masa molar de la sustancia mediante experimentos. Cuando

se conoce la masa molar se debe comparar con la masa de la fórmula empírica (si no son iguales), y entonces se divide la masa molar entre la masa de la fórmula empírica. El resultado indica las veces que la masa de la fórmula empírica está contenida en la masa molar. El valor obtenido se debe multiplicar por los subíndices de la fórmula empírica y así obtener la fórmula molecular.

Siguiendo con nuestro ejemplo, la masa molar del acetileno es 26.036 g/mol y la del benceno 78.108 g/mol. La masa de la fórmula empírica es 13.018 g/mol. Al hacer la división tenemos:

$$\frac{\text{masa molar del } C_2H_2}{\text{masa fórmula empírica de } CH} = \frac{26.036 \text{ g/mol}}{13.018 \text{ g/mol}} = 2$$

$$\frac{\text{masa molar del } C_6H_6}{\text{masa fórmula empírica de } CH} = \frac{78.108 \text{ g/mol}}{13.018 \text{ g/mol}} = 6$$

El valor obtenido muestra que la masa molar del acetileno es dos veces mayor que la de la fórmula empírica. Por lo tanto, la fórmula molecular del acetileno debe contener dos veces más el número de átomos de C y H representados por la fórmula empírica. En el caso del benceno la relación es seis veces mayor.

Al multiplicar los valores obtenidos en ambos casos por los subíndices de la fórmula empírica, obtenemos la fórmula molecular:



En algunos compuestos las fórmulas empírica y molecular son iguales.

## 1.4 CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS

Los cálculos estequiométricos se utilizan de manera rutinaria en el análisis químico y durante la producción de todas las sustancias químicas que usan las industrias.

Estos cálculos permiten determinar las cantidades de sustancias que participan en una reacción química. Para representar una reacción lo hacemos mediante una ecuación química. *La ecuación química balanceada proporciona información estequiometría teórica de las cantidades de sustancias que participan.* A partir de estos datos se puede determinar la cantidad de sustancias a utilizar y la cantidad de sustancias producidas al llevar a cabo una reacción química.

Las cantidades de sustancias reaccionantes y producto formado van a estar en proporción de las masas (m) de las sustancias que participan, de los moles (n) que de cada una de ellas intervienen en la reacción y de su masa molar (**M**), relación que se establece mediante la fórmula:

$$n = \frac{m}{M}$$

Analizamos la siguiente ecuación que representa una reacción química en general:



La masa reaccionante de **A** va a estar en proporción de la masa reaccionante de **B**. Así, podemos establecer la relación entre ambas masas despejando **m** de la fórmula anterior:

$$\frac{m_A}{m_B} = \left[ \frac{n_A}{n_B} \right] \left[ \frac{M_A}{M_B} \right] \text{ Ecuación (4)}$$

En donde  $\left[ \frac{n_A}{n_B} \right]$  es la **relación estequiométrica** o el **factor de conversión** que se obtiene de la ecuación química balanceada. Para nuestro ejemplo los factores de conversión que se obtienen son:

$$\left[ \frac{n_A}{n_B} \right] \text{ o } \left[ \frac{n_B}{n_A} \right] ; \left[ \frac{n_A}{n_C} \right] \text{ o } \left[ \frac{n_C}{n_A} \right] ; \left[ \frac{n_B}{n_C} \right] \text{ o } \left[ \frac{n_C}{n_B} \right]$$

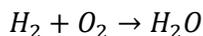
Por otra parte, si queremos calcular la masa de **A** (**m<sub>A</sub>**) que reacciona con **X** cantidad de masa de **B** (**m<sub>B</sub>**), despejamos **m<sub>A</sub>** de la fórmula y reagrupamos términos con la finalidad de eliminar unidades y obtener la unidad deseada.

$$m_A = \left[ \frac{m_B}{M_B} \right] \left[ \frac{n_A}{n_B} \right] (M_A)$$

Haciendo el análisis dimensional tenemos:

$$m_A = \left[ \frac{m_B(g)}{M_B \left( \frac{g}{mol} \right)} \right] \left[ \frac{n_A(mol)}{n_B(mol)} \right] \left[ M_A \left( \frac{g}{mol} \right) \right] = g$$

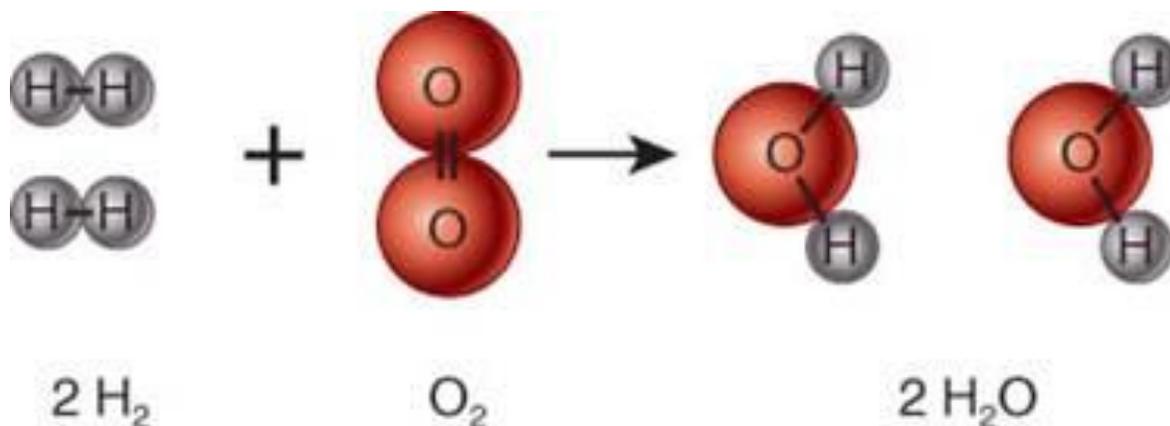
Veamos cómo aplicar esta fórmula para resolver problemas de estequiometría. Analicemos la ecuación química que representa la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno para formar agua:



La interpretación que le damos a esta ecuación (sin balancear) es que «una molécula de hidrógeno reacciona con una molécula de oxígeno para producir una molécula de agua». La ley de la Conservación de la Masa nos recuerda que la ecuación debe estar balanceada. Al aplicar esta ley la ecuación queda representada como sigue:

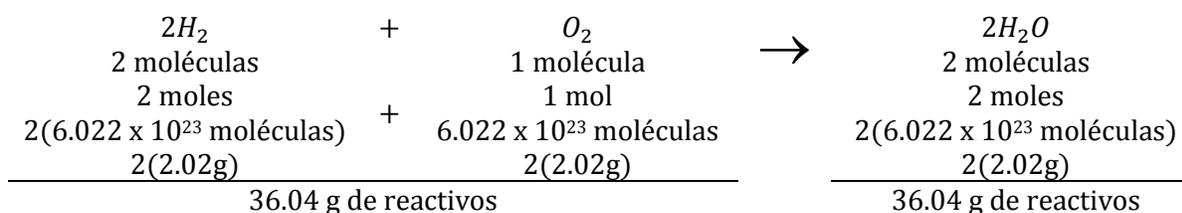


La interpretación que hacemos ahora es «dos moléculas de hidrógeno se combinan (o reaccionan) con una molécula de oxígeno para formar dos moléculas de agua» [Figura 1.3] Haciendo uso del término mol, la interpretación que hacemos de la ecuación balanceada es «dos moles de moléculas de hidrógeno reaccionan con un mol de moléculas de oxígeno para producir dos moles de moléculas de agua»



**Figura 1.3** Representación de la reacción entre el hidrógeno y el oxígeno para formar agua.

Traduciendo esto a cantidades de sustancia la información obtenida de la ecuación química balanceada es que «4.04 g de hidrógeno se combinan con 32 g de oxígeno para producir 36.04 g de agua».

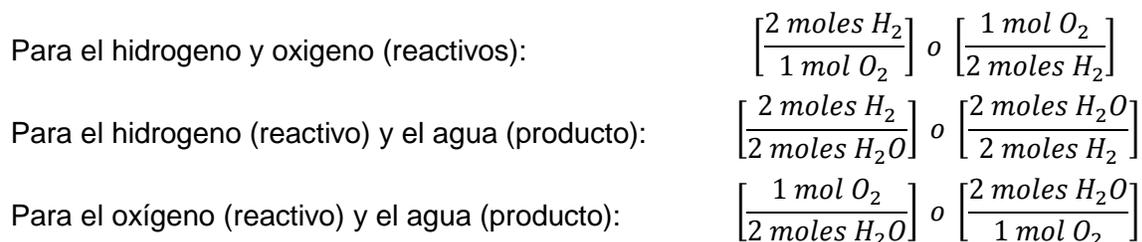


Las cantidades 2 moles  $\text{H}_2$ , 1 mol  $\text{O}_2$  y 2 moles  $\text{H}_2\text{O}$ , dadas por los coeficientes de la ecuación para la formación del agua, se denominan **cantidades estequiométricamente equivalentes**. Esta relación se puede representar como:



El símbolo  $\cong$  significa «**estequiométricamente equivalente a**». Las relaciones estequiométricas equivalentes se pueden usar como factores de conversión para relacionar cantidades de reactivos y de productos en una reacción química.

Los factores de conversión que se obtienen de las relaciones estequiométricamente equivalentes de la ecuación química que representa la formación del agua son los siguientes:



Observa que **los coeficientes** de la **ecuación química balanceada** se deben usar para escribir las **relaciones estequiométricas** de cada par de las sustancias químicas participantes en la reacción.

Por ejemplo, en la reacción de formación del agua:  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ , si queremos saber la cantidad de hidrógeno que reacciona con 10 g de oxígeno para formar agua, usamos la ecuación 4, despejamos y reagrupamos términos:

$$m_{\text{H}_2} = \left[ \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} \right] \left[ \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{O}_2}} \right] (M_{\text{H}_2})$$

Sustituimos los valores conocidos:

$$m_{\text{O}_2} = 10 \text{ g} \quad M_{\text{O}_2} = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad M_{\text{H}_2} = 2.02 \text{ g/mol}$$

$$\left[ \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{O}_2}} \right] = \left[ \frac{2 \text{ moles H}_2}{1 \text{ mol O}_2} \right] \rightarrow \text{Factor de conversión que se obtiene de la relación estequiométrica.}$$

$$m_{\text{H}_2} = \left[ \frac{10 \text{ g O}_2}{32 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{O}_2} \right] \left[ \frac{2 \text{ moles H}_2}{1 \text{ mol O}_2} \right] \left( 2.02 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \text{H}_2 \right) = \mathbf{1.26 \text{ g}}$$

Se pueden establecer métodos para resolver problemas de estequiometría, pero el mejor será el que tú determines basado en la habilidad que adquieras al resolver este tipo de problemas.

A continuación, se presenta una secuencia de pasos para resolver problemas de estequiometría:

**Paso 1** Escribir la ecuación química balanceada con las fórmulas o símbolos correctos de reactivos y productos.

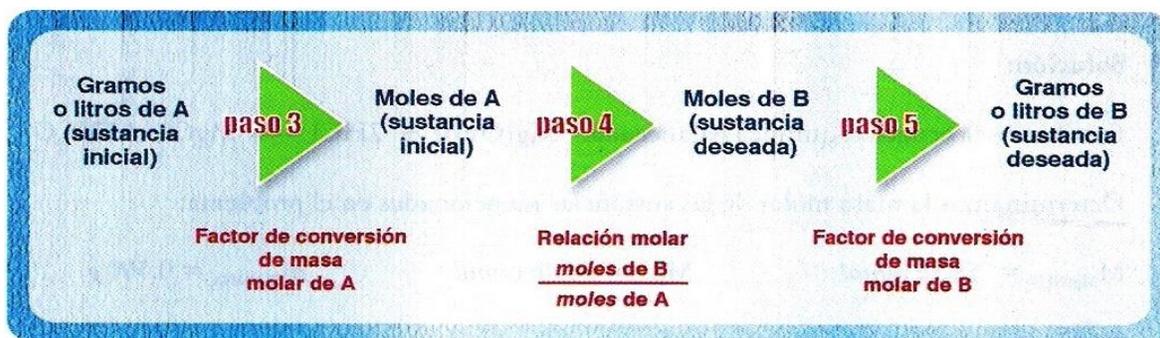
**Paso 2** Determinar las masas molares de las sustancias que intervienen en el cálculo.

**Paso 3** Convertir a moles la cantidad de sustancia conocida **A** usando el factor de conversión correspondiente.

**Paso 4** Convertir los moles determinados de la sustancia conocida **A** a moles de la sustancia desconocida **B**. Hacer uso de la relación estequiométrica correcta tomada de la ecuación balanceada.

**Paso 5** Convertir los moles determinados de la sustancia desconocida **B** a las unidades solicitadas.

El **Esquema 1.4** muestra los pasos del tres al cinco para la solución de problemas estequiométricos.



**Esquema 1.4** Conversión de la masa o volumen de una sustancia conocida **A** a masa o volumen de una sustancia desconocida **B**.

### Relación estequiométrica mol-mol

Este tipo de problemas es de los más sencillos, pues sólo se requiere hacer la conversión de **moles de A** a **moles de B** usando la relación estequiométrica de la ecuación química balanceada.

### Relación estequiométrica masa-masa

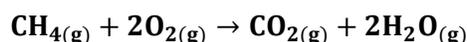
En este tipo de problemas las cantidades de sustancia conocida y desconocida están expresadas en **unidades de masa**, es decir, en **gramos**.

### Relación estequiométrica volumen-volumen

Los problemas estequiométricos que involucran relaciones **volumen-volumen** tienen que ver con reacciones en las que reactivos y productos son **gases**, además de que se encuentran a la misma presión y temperatura.

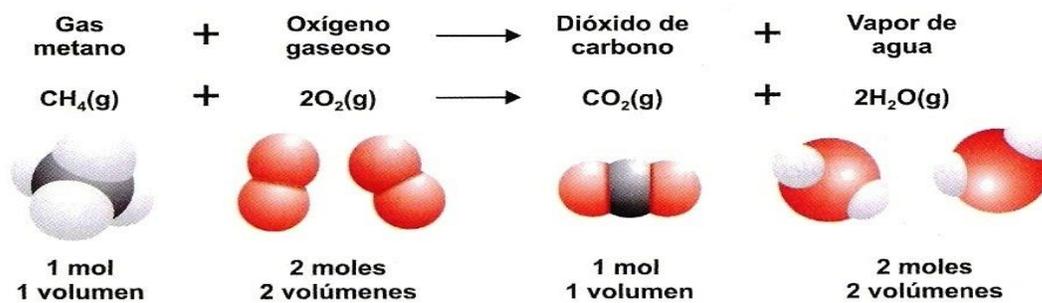
La solución de este tipo de problemas tiene sus bases en la ley de los volúmenes de combinación de **Gay Lussac**, que establece: «**cuando reaccionan y se forman gases, sus volúmenes están en proporción de números enteros pequeños siempre y cuando se midan a la misma presión y temperatura**».

La unidad de medida es el **litro (L)**, y la relación de los volúmenes para este tipo de reacciones es directamente proporcional a los valores de los coeficientes de la ecuación química balanceada. Para comprender esto, analicemos la reacción de combustión del metano representada por la ecuación química siguiente:



La interpretación estequiométrica es: 1 volumen de gas  $\text{CH}_4$  reacciona con 2 volúmenes de  $\text{O}_2$ , para producir 1 volumen de gas  $\text{CO}_2$  y 2 volúmenes de vapor de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Si las condiciones de temperatura y presión son normales (TPN), la interpretación estequiométrica es: 1 mol (22.4 L) de gas  $\text{CH}_4$  reacciona con 2 moles (44.8 L) de gas  $\text{O}_2$  para producir 1 mol (22.4 L) de gas  $\text{CO}_2$  y 2 moles (44.8 L) de vapor de  $\text{H}_2\text{O}$  [Figura 1.4].



**Figura 1.4** Los coeficientes de una ecuación balanceada indican la relación de moles y volúmenes entre reactivos y productos en estado gaseoso. A partir de estos coeficientes se pueden establecer las relaciones estequiométricas de volumen para cualquier par de gases de la reacción.

Para resolver este tipo de problemas hacemos uso de la ecuación 2, de la cual despejamos  $V$  y la transformamos para relacionar la proporción de volumen de A respecto al volumen B, tal y como se indica a continuación:

$$n = \frac{V(\text{litros})}{Vm(\text{moles/litro})} \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\frac{V_A}{V_B} = \left[ \frac{n_A}{n_B} \right] \left[ \frac{Vm_A}{Vm_B} \right] \quad \text{Ecuación (5)}$$

Donde

$V_A$  = volumen de A

$Vm_A$  = Volumen molar de A

$V_B$  = Volumen de B

$Vm_B$  = Volumen molar de B

$\frac{n_A}{n_B}$  = *Relación estequiométrica que se obtiene de la ecuación balanceada.*

### Relación estequiométrica masa-moles y moles-masa

La característica de este tipo de problemas es que la cantidad de sustancia conocida está expresada en unidades de masa y se pide calcular la cantidad de sustancia desconocida y reportarla en moles, aunque también puede ser a la inversa, es decir, la cantidad de sustancia conocida está expresada en moles y las unidades de la cantidad de sustancia desconocida debe expresarse en unidades de masa.

## 1.5 REACTIVO LIMITANTE

Generalmente, en las reacciones químicas que se llevan a cabo a nivel industrial o laboratorio alguno de los reactivos que intervienen se consume en su totalidad, y cuando esto sucede la reacción se detiene.

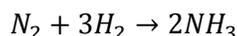
**Al reactivo que se agota en su totalidad en una reacción química se le llama reactivo limitante**, ya que la cantidad de este reactivo limita la cantidad que se obtiene del producto.

Por lo anterior, se debe usar el reactivo limitante como base para calcular la cantidad máxima posible de producto que se puede obtener.

La analogía siguiente puede ayudar a entender el concepto de reactivo limitante. En un salón de clases existen 50 alumnos, de los cuales 23 son hombres y 27 son mujeres. El número de parejas (hombre-mujer) que puedes formar son 23 y tienes un excedente de cuatro mujeres; en este caso, quien limita la cantidad de parejas que se pueden formar es la cantidad de hombres, pues es menor que la de mujeres y es la cantidad que se agota primero.

El **reactivo en exceso** es el que está en mayor cantidad la necesaria para reaccionar con la cantidad de reactivo limitante. El reactivo en exceso por lo general es el menos costoso, y permite continuar la reacción hasta que todo el reactivo limitante se haya consumido. Al utilizar un **exceso de un reactivo** también se **acelera la reacción**.

Considera ahora la reacción de formación del amoníaco para explicar el concepto de reactivo limitante.



Si para esta reacción se cuenta con 14 moles de  $H_2$  y 4 moles de  $N_2$ , **¿cuál es el reactivo limitante?**

Una forma de identificarlo es calculando la cantidad de producto que se forma con cada cantidad de reactivo; aquel que proporcione la menor cantidad será el reactivo limitante:

Con 14 moles de  $H_2$ , ¿cuántos moles de  $NH_3$  se producen?

$$n_{NH_3} = n_{H_2} \left[ \frac{n_{NH_3}}{n_{H_2}} \right] \rightarrow \text{Se obtiene de la relación estequiométrica.}$$

$$n_{NH_3} = 14 \text{ moles } H_2 \left[ \frac{2 \text{ moles } NH_3}{3 \text{ moles } H_2} \right] = \mathbf{9.33 \text{ moles}}$$

Con 4 moles de  $N_2$ , ¿cuántos moles de  $NH_3$  se producen?

$$n_{NH_3} = 4 \text{ moles } N_2 \left[ \frac{2 \text{ moles } NH_3}{1 \text{ mol } N_2} \right] = \mathbf{8.00 \text{ moles}}$$

En este caso el **reactivo limitante es el  $N_2$** , pues produce la menor cantidad de  $NH_3$ .

Un segundo método para identificar al reactivo limitante es calculando los moles requeridos de cada reactivo necesarios para reaccionar con la cantidad de que se parte para cada uno de ellos y considerando las relaciones molares de la ecuación química balanceada.

Así tenemos que un mol de  $N_2$ , reacciona con tres moles de  $H_2$  para formar dos moles de  $NH_3$ . Para la reacción se cuenta con 4 moles de  $N_2$  y 14 moles de  $H_2$ . Calculamos los moles que se requieren para cada cantidad de reactivo.

Para 14 moles de  $H_2$ , ¿cuántos moles  $N_2$ , se requieren?

De la ecuación química tenemos que 1 mol de  $N_2$ , se combina con 3 moles de  $H_2$ , luego entonces tenemos que:

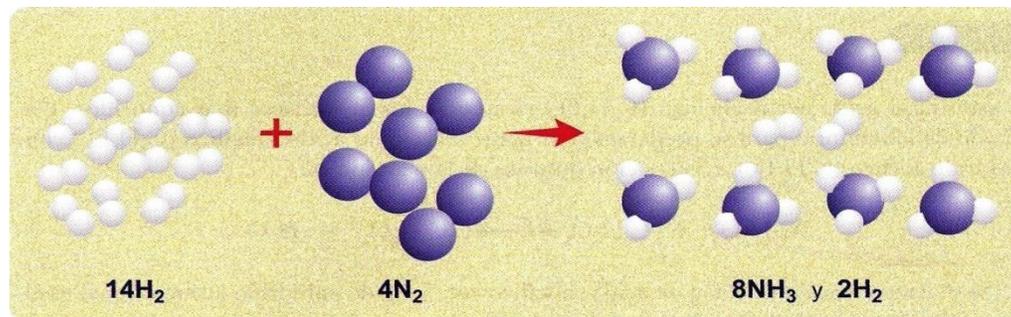


$$n N_2 = 14 \text{ mol } H_2 \left[ \frac{1 \text{ mol } N_2}{3 \text{ mol } H_2} \right] = 4.67 \text{ mol}$$

Para 4 moles de  $N_2$  ¿cuántos moles de  $H_2$  se requieren?

$$n N_2 = 4 \text{ mol } N_2 \left[ \frac{3 \text{ mol } H_2}{1 \text{ mol } N_2} \right] = 12 \text{ mol}$$

Observa que la cantidad de moles de  $N_2$  que se necesitan (4.67) es mayor de la que se parte (4.00), por lo tanto, el  $N_2$  es el reactivo limitante [Figura 1.5].



**Figura 1.5** Diagrama que presenta la utilización completa de un reactivo limitante en una reacción. Como el  $N_2$  se consume por completo, es en este caso el reactivo limitante. Al haber un exceso de  $H_2$  sobra un poco al final de la reacción.

### Rendimiento teórico

La cantidad de producto que se debe obtener en una reacción con base en las cantidades estequiométricas de la ecuación balanceada, **cuando se ha consumido todo el reactivo limitante, se llama rendimiento teórico**. Sin embargo, en la práctica es raro que una reacción genere el rendimiento teórico.

La cantidad de producto que se obtiene ya en la práctica se llama **rendimiento real**. El rendimiento real casi siempre es menor que el rendimiento teórico, nunca puede ser mayor. Algunas causas de esta diferencia son que no siempre es posible recuperar todo el producto del medio de reacción; también es posible que una parte de los reactivos no reaccione o que reaccione de forma diferente a lo deseado, es decir, que exista una reacción secundaria.

Para conocer la eficiencia de una reacción se calcula el porcentaje de rendimiento relacionando el rendimiento real con el teórico:

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{rendimiento real}}{\text{rendimiento teórico}} \times 100$$

## 1.6 IMPLICACIONES ECOLÓGICAS, INDUSTRIALES Y ECONÓMICAS DE LOS CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS.

El deterioro que ha sufrido nuestro medio ambiente es un problema provocando en gran medida por la alta densidad de población y el desarrollo tecnológico de una civilización en constante cambio.

La química juega un papel fundamental en este avance y por lo tanto, contribuye el problema [Ilustración 1.4]. Como todo es química, también la contaminación y el deterioro del medio ambiente es químico. Pero en la química también se encuentra la solución para resolverlo.

Cualquier proceso industrial siempre genera desechos o subproductos, mismos que son expulsados hacia la atmósfera, a los ríos o tirados a cielo abierto (suelo).

Dentro de los contaminantes ambientales podemos mencionar los siguientes:

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )
- Gases del efecto invernadero:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$  (óxidos de nitrógeno),  $\text{O}_3$ , CFC (clorofluorocarbonos).
- Compuestos orgánicos persistentes (COPs): Sustancias químicas en su mayoría sintéticas, compuestos organoclorados, muy tóxicos y persistentes en el medio ambiente.
- Metales pesados (cationes):  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^+$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{As}^{3+5+}$ ,  $\text{Se}^{4+,6+}$
- Cualquier compuesto químico (contaminantes emergentes): Productos farmacéuticos, del cuidado personal, surfactantes, aditivos industriales, plastificantes, plaguicidas y una gran variedad de compuestos químicos.

Algunas acciones que los químicos pueden realizar para disminuir el deterioro del medio ambiente son:

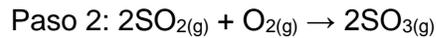
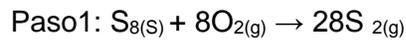
- Desarrollar procesos industriales que sean más eficientes y generen menos desechos que contaminen al ambiente.
- Cuantificar las sustancias contaminantes en el ambiente y diseñar procesos para su eliminación.
- Diseño e implantación de métodos químicos para el tratamiento de residuos.

El costo de los productos elaborados a partir de procesos químicos depende de la eficiencia del proceso, es decir, del rendimiento o eficiencia de la reacción química. Mientras más eficiente sea la reacción, más bajos son los costos de producción y menos la cantidad de subproductos o «desechos» que se generan; esto va a depender de los cálculos estequiométricos, mediante los cuales se busca generar la mayor cantidad de producto con una menor cantidad de reactivos (materia prima). Por ejemplo, el ácido sulfúrico es una sustancia importante porque es la materia prima para producir fertilizantes, detergentes, pigmentos y textiles.

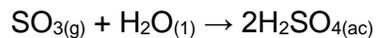
El ácido sulfúrico se fabrica utilizando azufre extraído de las minas. El proceso de dos pasos denominado proceso de contacto es el que generalmente se utiliza para producir el ácido [Esquema 1.5]. Al paso del tiempo, este proceso ha sido mejorado por los químicos buscando el máximo rendimiento del proceso para generar la mayor cantidad de

productos y, a la vez cumplir con las normas ambientales respecto a la contaminación del aire.

Los dos pasos del proceso de contacto se representan por las siguientes ecuaciones:



El paso final es la combinación del  $\text{SO}_3$  con agua para producir el ácido:



En el primer paso, la combustión del azufre produce un rendimiento de casi el 100%. En el segundo paso el rendimiento también es alto si se utiliza un catalizador a una temperatura de  $400^\circ\text{C}$ . En estas condiciones la reacción es lenta; aumentar la temperatura acelera la reacción pero disminuye el rendimiento.

Para maximizar el rendimiento y minimizar el tiempo en el segundo paso, los químicos han diseñado un sistema en el cual los reactivos  $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_2$ , se pasan por un catalizador a  $400^\circ\text{C}$ . Como la reacción libera gran cantidad de calor, la temperatura aumenta gradualmente con una reducción en el rendimiento. Cuando la temperatura está próxima a los  $600^\circ\text{C}$ , la mezcla se enfría y se pasa de nuevo por el catalizador. Después de cuatro pasadas por el catalizador y dejando enfriar entre cada una se obtiene un rendimiento mayor e 98%.

## BLOQUE 2

# ACTÚAS PARA DISMINUIR LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE, DEL AGUA Y DEL SUELO

### 2.1 CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Con el descubrimiento del fuego, el hombre inició la alteración del equilibrio entre él y su entorno. El problema se acrecentó durante la Revolución Industrial debido a la quema en grandes cantidades de **hulla** para generar energía en las lubricas o para calentar los hogares.

Los procesos químicos que se llevan a cabo en las industrias, o bien, las diversas actividades del hombre, producen sustancias químicas que son expulsadas a la atmósfera generando la contaminación del aire. Para determinar el grado de ésta y los efectos que causa sobre la salud de las personas, se establecen los índices de contaminación.

El **índice de calidad del aire** es un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica.

En México, la calidad del aire se mide a través del **Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA)**. Este índice es publicado para contaminantes como OZONO (O<sub>3</sub>), partículas menores a diez micrómetros (PM<sub>10</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO).

Se toman como criterios de evaluación rangos de valores que van desde cero (que indican una buena calidad del aire) hasta valores superiores a 200 (que indican una calidad extremadamente mala). Para cada rango del IMECA existe un color que lo caracteriza. En la Tabla 2.1 se presentan los valores del IMECA para evaluar la calidad del aire en la ciudad de México, sus colores representativos, las recomendaciones a seguir y los posibles riesgos que conlleva cada valor.

IMECA	CONDICION	EFFECTOS EN LA SALUD
0 - 50	BUENA	* Puedes tener actividades al aire libre.
51 - 100	REGULAR	* Puedes tener actividades al aire libre. * Posibles molestias en personas con enfermedades respiratorias ó cardiovasculares, niños y adultos mayores.
101 - 150	MALA	* Evite las actividades al aire libre. * Posibles efectos adversos a la salud, en personas con enfermedades respiratorias/cardiovasculares, niños y adultos mayores.
151 - 200	MUY MALA	* Evite salir de casa, mantenga ventas y puertas cerradas. * Evite actividades al aire libre. * Acuda al médico si presenta complicaciones respiratorias ó cardiacas.
Mayor de 200	EXTREMADAMENTE MALA	* Evite salir de casa, mantenga ventas y puertas cerradas. * Evite actividades al aire libre. * Mantengase informado de las instrucciones de Protección Civil y autoridades de Salud. * Acuda al médico si presenta complicaciones respiratorias ó cardiacas.

Tabla 1.1 Valores del IMECA

Es importante mencionar que el IMECA es aplicado en otras entidades de la República mexicana como Nuevo León, Chihuahua y Jalisco, entre otras.

## Contaminación del agua

Como sabemos, el agua juega un papel muy importante para la vida, pero lamentablemente no está exenta de contaminación. El agua en la naturaleza no se encuentra pura; para fines prácticos se usa el concepto de **agua potable** para aquella que es suministrada a la **red pública**.

En la actualidad, México, al igual que otros países, enfrenta una disminución acelerada de la disposición de agua en las zonas más pobladas y una creciente contaminación de los mantos acuíferos susceptibles de servir como fuentes de abastecimiento.

Hace unos cientos de años, el hecho de tirar basura y contaminantes a los ríos y lagos no causaba grandes problemas. Los desechos orgánicos podían reciclarse y convertirse en nutrientes que, a su vez, proveían alimento a peces y plantas acuáticas. Los ríos se **autopurificaban**. Pero a medida que las pequeñas comunidades crecieron y se convirtieron en pueblos, y los pueblos en ciudades, sus desechos se convirtieron en **contaminación**.

El **agua contaminada** puede llevar materiales extraños como **microorganismos**, **productos químicos**, **residuos industriales** o **agrícolas**. Estos materiales deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos **[Ilustración 2.1]**.



**Ilustración 2.1.** La contaminación del agua la hace inutilizable para actividades diversas.

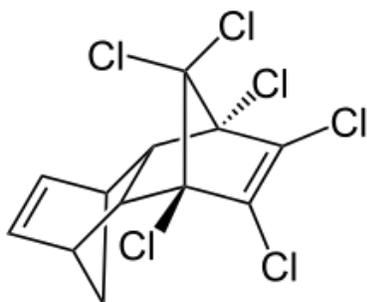
Los contaminantes se comportan de diferente manera cuando se agregan al agua. Los materiales no conservativos, que incluyen a la mayoría de las sustancias orgánicas, algunas sustancias inorgánicas y muchos microorganismos, se degradan por los procesos naturales de autopurificación, de modo que sus concentraciones se reducen con el tiempo, lo que depende del tipo de contaminante, de la calidad del agua receptora y de la temperatura, entre otros factores ambientales.

La **contaminación del agua tiene efectos que repercuten en la salud humana**. Por ejemplo, si en el agua van disueltos iones cadmio, procedentes de los vertidos industriales de tuberías galvanizadas deterioradas, pueden ser absorbidos por los vegetales comestibles. Cuando el hombre ingiere alimentos contaminados por este elemento puede sufrir **trastornos diarreicos agudos**, así como **lesiones en hígado y riñones**.

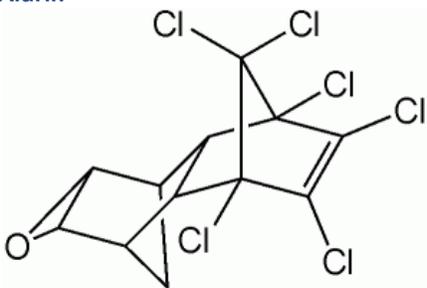
## Contaminación del suelo

Los suelos son una mezcla de sustancias minerales y materia orgánica transformada por la descomposición de restos animales y vegetales, agua y oxígeno que se requieren para el buen funcionamiento tanto de los productores de nutrientes como de los consumidores.

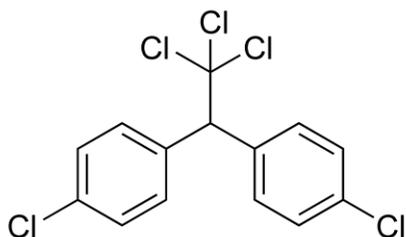
Dentro de los elementos más abundantes presentes en los suelos se encuentran el **oxígeno** y el **silicio**; aunque también podemos encontrar aluminio, hierro, calcio, sodio, potasio, magnesio, fósforo, azufre, carbono, cloro y titanio. Todos estos elementos se encuentran combinados con el oxígeno formando **óxidos**, como el óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), y, en algunos casos, con otros elementos como el silicio para formar estructuras complejas como los **feldespatos**, que son un tipo de cuarzo; los silicatos de cadena, como la hornablenda; la apatita, etcétera.



Aldrin



Dieldrin



DDT

Figura 2.1 Estructuras químicas de algunos plaguicidas organoclorados

Con el advenimiento de la Revolución Industrial, en la agricultura se comenzaron a utilizar **fertilizantes químicos** y **plaguicidas** que permitieron obtener un incremento considerable en la producción agrícola. Esto a su vez provocó un uso exagerado de dichas sustancias, cuyos **efectos contaminantes** aparecieron años más tarde. Por ejemplo, se perjudicaron algunos cultivos; en el caso de los insecticidas, muchos no son selectivos y, por consiguiente, matan otros tipos de insectos que no son perjudiciales para el cultivo; al aplicar un exceso de plaguicida, éste puede ser absorbido por la planta, concentrándose en todas sus partes, entre otros daños.

La evaluación del grado de contaminación del suelo por plaguicidas es de gran importancia debido a la transferencia de estos contaminantes a partir del suelo hacia los alimentos.

Entre los plaguicidas más usados están los hidrocarburos clorados, incluyendo al DDT, que actualmente ha dejado de usarse; el dieldrin, el aldrin, etc. **Figura 2.1**. Algunos insecticidas son biodegradables y se hidrolizan con facilidad; sin embargo, los hidrocarburos clorados son resistentes a la degradación y se hidrolizan con suma lentitud.

Además de la contaminación del suelo causada por plaguicidas, existe la causada por basura y agua contaminada que provienen de las zonas urbanas. En la basura

existen materiales no biodegradables como latas de aluminio y algunos envases de plástico, que son virtualmente basura indestructible. Los tiraderos de basura a «cielo abierto» ocupan un área de terreno mayor que si se ocupara para relleno sanitario. También se daña el suelo debido a la infiltración de compuestos químicos presentes en los desechos disueltos por el agua de lluvia u otros líquidos derivados de la descomposición natural.

Otros grandes contaminantes del suelo son los desechos de origen doméstico y los procedentes de diversos tipos de industrias (alimenticia, química, del petróleo, del papel, etcétera).

La conservación de los suelos es importante, ya que éstos constituyen el recurso para la producción alimentaria, soporte de las actividades humanas, fuentes de minerales y materiales de construcción y reserva de agua, entre otros.

## 2.2 ORIGEN

### Contaminantes antropogénicos primarios y secundarios

La **contaminación natural** es la provocada en su mayoría por erupciones volcánicas [Ilustración 2.2]; también las tormentas de polvo, sobre todo en las regiones áridas, incorporan al aire cantidades enormes de partículas. En ocasiones los pantanos y ciénegas emiten gases nocivos que se mezclan con el aire, provocando contaminación.



Ilustración 2.2. Durante una erupción se emite a la atmósfera bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y cenizas, principalmente.

La **contaminación antropogénica** es el resultado de las actividades del hombre. El mayor índice de contaminación del aire se presenta en las grandes ciudades debido a la concentración de las actividades industriales, comerciales y de transporte. Sin embargo, los contaminantes producidos en estas ciudades, al estar suspendidos en el aire, pueden viajar grandes distancias y llegar a tener impacto en zonas rurales.

La **mayor fuente de contaminación del aire es el uso de combustibles fósiles empleados como energéticos**. Gasolina, diesel, gas, **combustóleo** y carbón son los más utilizados en nuestro país en el orden de millones de toneladas por día, y los derechos de su combustión se desprenden a la atmósfera en forma de gases, humo y **hollín**.

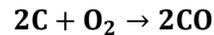
Los contaminantes del aire se clasifican en dos grupos: **primarios** y **secundarios**.

Los **contaminantes primarios** son los que permanecen en el aire tal y como fueron emitidos por la fuente. Para fines de evaluación de la calidad del aire son considerados como contaminantes primarios el **monóxido de carbono (CO)**, **bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ )**, **bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )**, **hidrocarburos** y **partículas microscópicas**.



**Ilustración 2.3.** En un incendio forestal, además de humo y hollín, se produce una gran cantidad de monóxido de carbono.

El **monóxido de carbono** es un gas venenoso producido por una mala combustión de la materia orgánica como la gasolina, el diesel, la hulla, etc. Otra importante fuente de este contaminante son los incendios [Ilustración 2.3]. Una forma general para representar su formación es la siguiente:

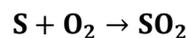


Cuando respiramos el aire contaminado con monóxido de carbono o humo de cigarro, y éste se combina con la hemoglobina (proteína encargada de transportar el oxígeno en la sangre), se forma un complejo llamado **carboxihemoglobina (COHb)** que impide el transporte normal de oxígeno,

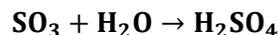
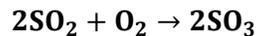
provocando una sobrecarga en la función bombeadora del corazón. La afinidad que tiene la hemoglobina con el monóxido de carbono es alrededor de 210 veces mayor que con el oxígeno. Esto significa que una pequeña cantidad de monóxido puede inactivar una fracción significativa de hemoglobina.

El **bióxido de azufre** se forma durante la combustión de la hulla, el combustóleo y, en algunos casos, la gasolina, debido a la presencia de azufre en estas sustancias. También se produce en la fundición de **vetas** metálicas ricas en azufre, procesos industriales y erupciones volcánicas.

Este compuesto es un gas incoloro con olor irritante. La ecuación química que representa la reacción de formación del bióxido de azufre es:



Parte de éste reacciona con el oxígeno del aire para formar trióxido de azufre, que al oxidarse y combinarse con el agua produce ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), principal componente de la **lluvia ácida**.



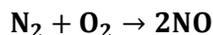
El **bióxido de azufre** es el contaminante gaseoso más nocivo para el hombre; en concentraciones mayores a la norma (0.13 ppm) daña los pulmones; es un potente irritador de los ojos y de la piel; incluso destruye el esmalte de los dientes. A este contaminante se le atribuye el aumento en el número de casos de **asma, enfisema, catarros y cansancio crónicos**.

El **bióxido de nitrógeno** se forma en las cámaras de combustión a alta temperatura cuando se queman combustibles fósiles en industrias y vehículos. También se genera en la atmósfera durante las tormentas eléctricas [Ilustración 2.4]. Es un gas café rojizo de olor picante.

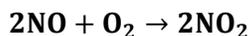


**Ilustración 2.4** La energía de un rayo es capaz de provocar la reacción entre el N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> atmosférico para producir NO<sub>2</sub>

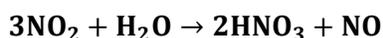
El compuesto precursor a partir del cual se produce es el monóxido de nitrógeno; éste se forma al reaccionar el nitrógeno con el oxígeno a altas temperaturas:



El oxígeno del aire oxida al monóxido para formar bióxido de nitrógeno:



Una parte del bióxido producido es absorbido por la vegetación, el suelo y el agua. Al reaccionar con las moléculas de agua presentes en el aire forma **ácido nítrico** ( $\text{HNO}_3$ ), otro componente de la **lluvia ácida**.



Cuando la concentración del bióxido de nitrógeno rebasa la norma (0.21 ppm) produce **daños en los pulmones, irritación de los ojos** y, al igual que el monóxido de carbono, **disminuye la capacidad de la hemoglobina para transportar oxígeno**.

Los **hidrocarburos** considerados como contaminantes son aquellos compuestos orgánicos en estado gaseoso que escapan a la atmósfera. Sus principales fuentes son la combustión incompleta de combustibles y el procesamiento, distribución y uso de compuestos derivados del petróleo, tales como la **gasolina** y los **solventes orgánicos**.

Sus diferentes propiedades tóxicas y de reactividad invalidan un criterio general de evaluación. Sin embargo, la razón principal para su control radica en que son precursores de reacciones fotoquímicas favorecedoras de la **formación de ozono**, un contaminante secundario.

Las **partículas microscópicas**, identificadas como Partículas Suspensas Totales (PST), son partículas sólidas o líquidas dispersas en la atmósfera, como el polvo, las cenizas, el hollín, las partículas metálicas, el cemento o el polen. El diámetro de estas partículas se encuentra entre 0.0002 y 500 **micrómetros** ( $\mu\text{m}$ ).

La fracción respirable de las PST conocida como PM-10, está constituida por aquellas partículas de diámetro inferior a 10  $\mu\text{m}$ , que tienen la particularidad de penetrar en el aparato respiratorio hasta los alvéolos pulmonares. Su fuente principal es la combustión industrial y doméstica del carbón, combustóleo y diesel, así como de procesos industriales, incendios, **erosión eólica** y erupciones volcánicas.

En la **tabla 2.2** se presenta una clasificación de las PST de acuerdo con sus efectos en la salud humana y sus principales características.

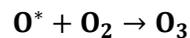
Tipo de Partícula	Características
Mayores de 10 $\mu\text{m}$	No representan riesgo significativo a la salud. Son partículas que sedimentan con facilidad, por lo que permanecen suspendidas en el aire por periodos cortos de tiempo.
Menores de 10 $\mu\text{m}$	Son perjudiciales a la salud, ya que no son retenidas por el tracto respiratorio.
Mayores de 2.5 $\mu\text{m}$	Representan un mayor riesgo a la salud, pudiendo ser un factor de muerte prematura.

**Tabla 2.2** Tipo de partículas contaminantes del aire de acuerdo a su tamaño y principales características.

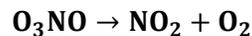
Los **contaminantes secundarios** son el producto de la reacción de dos o más contaminantes primarios en la atmósfera; o bien, aquellas sustancias presentes en la atmósfera sujetas a cambios químicos provocados por la acción de la luz solar. Algunos contaminantes secundarios son el **ozono** y el **peroxiacetilnitrato (PAN)**.

El **ozono (O<sub>3</sub>)** es un compuesto gaseoso incoloro producido por reacciones atmosféricas del **bióxido de nitrógeno** y de **hidrocarburos** bajo la influencia de la luz solar. Aunque las reacciones reales son más complejas que las mostradas a continuación, el resultado final es el mismo.

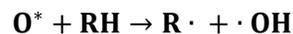
La **fotodisociación del NO<sub>2</sub>** por acción de la luz solar produce NO y oxígeno atómico (O\*); éste reacciona con oxígeno molecular para formar el ozono:



El **ozono** producido se consume al reaccionar con el NO y generar el reactivo original NO<sub>2</sub> más O<sub>2</sub>.



De acuerdo con estas ecuaciones, el **O<sub>3</sub>** no tendría por qué acumularse en el aire y ser un contaminante. Sin embargo, la presencia de hidrocarburos interfiere la última reacción. Así, parte del oxígeno atómico reacciona con los hidrocarburos (RH), produciendo radicales libres de hidrocarburo (R•) y de hidroxilo (•OH):



El radical libre de hidrocarburos reacciona con oxígeno molecular y forma radicales peroxiorgánicos (R-O-O•) muy reactivos:



Estos radicales peroxiorgánicos reaccionan con el NO para formar aldehídos y cetonas y regenerar el NO<sub>2</sub>.



El NO<sub>2</sub> formado puede sufrir **fotodisociación** seguida rápidamente de la formación de **ozono**. Así, el **ozono** no desaparece sólo aumenta su concentración como contaminante.

La contaminación por **ozono**, al igual que la del resto de los contaminantes atmosféricos, es un problema de los países industrializados. En la ciudad de México el ozono se ha mantenido como el contaminante más significativo. Las concentraciones más altas se registran usualmente después del mediodía y al atardecer, coincidiendo con «**la hora pico**» de la actividad vespertina.

La concentración de ozono como contaminante atmosférico no debe rebasar el límite máximo normado de 0.11 ppm, lo que equivale a 216 µg/m.



Tabla 2.2 Valores normados para los contaminantes (fuente: Instituto Nacional de Ecología)

## Depósito de sustancias tóxicas, basura radiactiva, industrial y doméstica

En nuestro país diariamente se generan miles de toneladas de basura, que en su mayor parte se acumulan en tiraderos «a cielo abierto», teniendo graves consecuencias para la salud y el ambiente [Ilustración 2.5].

Cuando la **basura** se acumula en estos sitios, sin ninguna previsión ni tratamiento, se presentan diversos problemas. Por ejemplo, la proliferación de insectos y roedores (que son transmisores de una serie de enfermedades como amibiasis, malaria, rabia, tifoidea y paludismo); malos olores debido a la fermentación aerobia y anaerobia de la basura orgánica; el desarrollo de bacterias patógenas provenientes de los desechos de



Ilustración 2.5 Basurero “a cielo abierto”.

hospitales o rastros; la contaminación de las aguas tanto superficiales como subterráneas, y la

contaminación del suelo y degradación del área, entre otros.

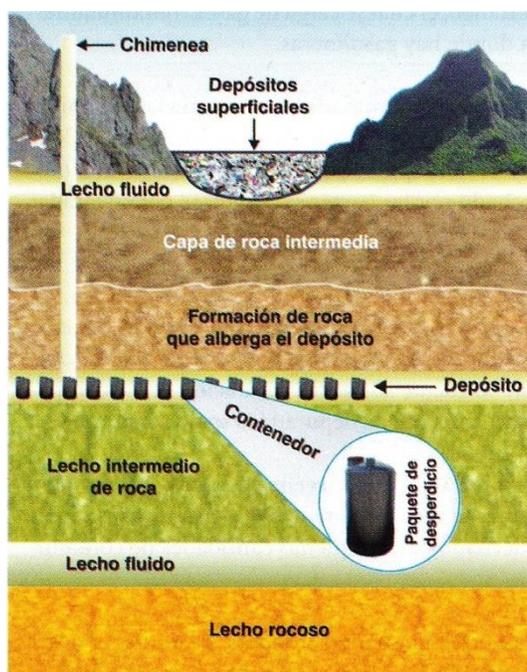


Figura 2.2 Técnica de eliminación de desechos radiactivos.

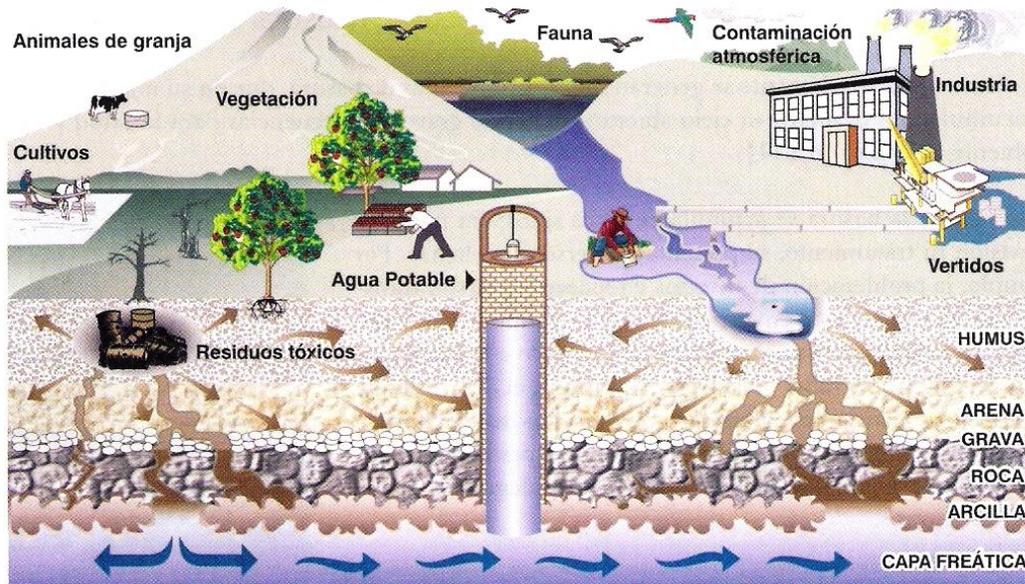
La **contaminación radiactiva es la más peligrosa generada por el ser humano; estos desechos plantean un gran Problema de eliminación, puesto que los materiales que contienen son persistentes, por lo que deben almacenarse en un lugar aislado y estable.** La técnica de eliminación más reciente ha sido vaciar los desechos radiactivos en cilindros de acero y concreto enterrados en las profundidades de pozos de extracción (aproximadamente de unos 300 a 1000 metros) e interponiendo cuatro barreras físicas entre éstos y los seres vivos; quedan sellados permanentemente **Figura 2.2.**

La contaminación de suelos por **sustancias tóxicas** es característica de todos los países industrializados. La Agencia Europea del Medio Ambiente publicó un estudio en el cual recalca que los residuos industriales son el problema ambiental más grande de Europa. En él señala que **los metales pesados como el cadmio,**

**zinc y plomo, o los compuestos químicos como los hidrocarburos clorados procedentes de industrias, pueden afectar la salud del hombre, de la fauna y flora de los lugares cuyos suelos han sido contaminados por estas sustancias.**

La gravedad de la contaminación dependerá de la toxicidad de los productos vertidos. En los suelos se altera la **composición del humus**, y como la arena y la grava son permeables, los productos tóxicos pueden llegar hasta la **capa freática**. Las sustancias

tóxicas pasan a los cultivos de ahí pueden llegar hasta el hombre al ser incorporados a la cadena alimenticia **Figura 2.3**.



**Figura 2.3** Los desechos tóxicos del suelo pueden llegar a la capa Freática.

## Descontaminación de suelos

Para descontaminar los suelos existen varios métodos. Algunos de los más usados en el mundo son los siguientes:

- 1. Ventilación de suelos.** Se aplica para eliminar compuestos volátiles como hidrocarburos mediante bombas que aspiran el aire subterráneo, el cual se carga de gases contaminantes. Es especialmente adecuado para zonas en donde hay gasolineras.
- 2. Degradación biológica.** Es muy útil para suelos contaminados con sustancias orgánicas como aceites, petróleo, algunos componentes clorados, plaguicidas e hidrocarburos. Consiste en extender capas finas de suelo de tal manera que se permita la entrada de una mayor cantidad de oxígeno, el cual es aprovechado por las bacterias aeróbicas para degradar las sustancias contaminantes.
- 3. Extracción.** Adecuado para suelos contaminados por metales pesados, cianuros, aceites, disolventes clorados y fenoles. Consiste en trasladar los contaminantes a un líquido o medio de extracción (disolventes orgánicos o soluciones de ácidos o bases); se mezcla el suelo contaminado con el líquido de extracción, posteriormente se hace la separación de los componentes de la mezcla (suelo y líquido extractor), y así queda depurado el suelo contaminado.
- 4. Biorreestructuración.** Se aplica en suelos contaminados con aceites pesados, queroseno y tricloroetanos. Consiste en agregar nutrientes al terreno para activar sus procesos biológicos naturales. Es un tratamiento muy adecuado para pequeñas cantidades de contaminantes.

**5. Confinamiento. Apto para productos tóxicos que no se pueden tratar, ya sea por el costo que implica o porque no es urgente.** Este método se aplica en aquellos suelos en los que no hay aguas que contaminar, pues el terreno se aísla, se cubre y se sella durante el tiempo que dura su restauración.

Además de estos métodos existen otros más naturales; por ejemplo, **cierto tipo de árboles** son capaces de **absorber los metales pesados**. También se estudia la capacidad de absorción de **sustancias radiactivas** por **líquenes**.

En la actualidad se abusa del suelo más que nunca. Cada uno de nosotros debe participar en la protección de este recurso, ya que al salvaguardarlo nos salvamos a nosotros mismos y a nuestras formas de vida.

Somos conscientes de la **necesidad del aire** y el **agua**, pero tal vez aún no le hemos dado la importancia que para nuestra vida tiene el **suelo**; y en especial la capa superior que se conoce como mantillo o suprasuelo. Los nutrientes que hay en nuestros alimentos provienen del suelo; éste también proporciona madera, papel, algodón y muchos otros materiales vitales, además de que ayuda a purificar el agua.

El problema de la contaminación no es sencillo de resolver y requiere tanto de la participación de las voluntades individuales como de las colectivas, es decir, de la voluntad social en conjunto, de los gobiernos, de los partidos políticos, entre otros.

## Reacciones químicas

Para la precipitación química en el tratamiento de las aguas contaminadas se requiere adicionar productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de los sólidos disueltos y en suspensión, y así poder ser eliminados mediante la sedimentación. Algunas de las reacciones químicas que se llevan a cabo en este proceso con distintos reactivos se describen a continuación.

**Reacción con sulfato de alúmina.** Al agregar este reactivo al agua residual que posee propiedades alcalinas (debido a bicarbonato de calcio o magnesio), la reacción que tiene lugar puede representarse de la forma siguiente:

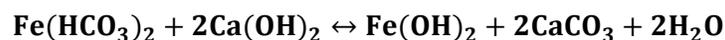


El hidróxido de aluminio insoluble es un flóculo gelatinoso que sedimenta lentamente arrastrando consigo materia suspendida. La reacción es exactamente análoga cuando se sustituye el bicarbonato de calcio por la sal de magnesio.

**Reacción con sulfato ferroso y cal.** El sulfato ferroso no puede utilizarse sólo como precipitante en la mayoría de los casos, puesto que se debe añadir cal al mismo tiempo con el fin de que se forme un precipitado. La reacción con sulfato ferroso como único aditivo se ilustra a continuación:



Si se agrega a continuación cal en forma de hidróxido de calcio, la reacción será:

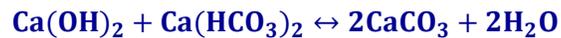


El hidróxido ferroso es posteriormente oxidado a hidróxido férrico, compuesto final deseado, mediante el oxígeno disuelto.

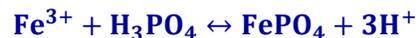
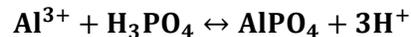


El hidróxido férrico insoluble forma un flóculo gelatinoso y voluminoso, similar al del hidróxido de aluminio. El sulfato férrico puede utilizarse en lugar del sulfato ferroso y su empleo evita, en ocasiones, la adición de cal y la necesidad de oxígeno disuelto.

**Reacción con cal.** Cuando se agrega cal como precipitante, el proceso de clarificación queda explicado por las reacciones siguientes:



**Reacción con iones metálicos.** Las reacciones de precipitación química para la eliminación de fosfatos se llevan a cabo empleando diversos iones metálicos polivalentes; por ejemplo, usando iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{3+}$ , las reacciones que tienen lugar son las siguientes:



En las reacciones de precipitación anteriormente analizadas se mencionó que cuando se añade cal al agua, reacciona con el bicarbonato para precipitar como carbonato de calcio. Los iones calcio en exceso reaccionarán con el fósforo, como se indicó arriba, para precipitar como **hidroxiapatita**  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ .

La precipitación química también se aplica, por ejemplo, para eliminar **metales tóxicos** como el **romo**, que es dañino para los sistemas biológicos. Si se agrega sulfato ferroso y cal, el cromo se reduce y de esta forma se puede precipitar como hidróxido. Las reacciones químicas de precipitación que se han presentado son sólo algunos ejemplos de cómo la química interviene en el tratamiento de aguas contaminadas. En los tratamientos de agua existen otras reacciones que tienen lugar por la acción de microorganismos que descomponen la materia orgánica, pero no son del alcance de este curso.

## Estequiometría y contaminación

La **estequiometría**, es la parte de la química encargada de medir las cantidades de reactivos que intervienen en una reacción química, así como las cantidades de los productos formados.

Determinar las cantidades de los contaminantes permite establecer parámetros con los que podemos conocer las concentraciones límite en el ambiente; además, en los procesos industriales, esto permite conocer qué procesos son los que generan mayor cantidad de contaminantes, para así poder realizar un estudio minucioso del proceso y, de

ser necesario, reestructurar dicho proceso o formular uno nuevo que emita menores cantidades de contaminantes.

## CONTAMINANTES DEL AGUA DE USO INDUSTRIAL Y URBANO

### Contaminantes urbanos

La **contaminación del agua en zonas urbanas se debe a las aguas residuales de los hogares y de los establecimientos comerciales**. A este tipo de agua contaminada también se le conoce como **aguas negras**. Estas contienen **compuestos complejos de nitrógeno, fósforo y otros elementos presentes en los detergentes, materia orgánica y excremento humano**; existe en ellas la presencia de una gran cantidad de bacterias patógenas, algunas de las cuales pueden transmitir diversas enfermedades como hepatitis, poliomielitis, cólera, tifoidea, amibiasis, etcétera.



**Ilustración 2.6.** Diversas sustancias y basura son arrastradas por el agua hacia los alcantarillados.

Además de los contaminantes producidos en los hogares y en los comercios, el agua que escurre por los alcantarillados arrastra también basura de las calles, sustancias emitidas por los automóviles o talleres mecánicos como hidrocarburos y plomo, entre otros

[ilustración 2.6].



**Ilustración 2.7** La composición de los desechos industriales depende del tipo de industria y del proceso en el que se utilizó el agua.

### Contaminantes industriales

La **contaminación industrial** depende del tipo de industria y proceso en el cual se ha utilizado el agua; estas aguas, por lo general, contienen **materia mineral suspendida**, coloidal o disuelta, así como materia orgánica y desechos inertes; además, pueden ser excesivamente **ácidas** o **alcalinas**, y contener altas concentraciones de materias colorantes y bacterias patógenas

[Ilustración 2.7].

Normalmente, en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo de las que producen contaminantes más peligrosos, como **metales tóxicos**.

Por su toxicidad, ciertos cationes son de gran importancia en el tratamiento de las aguas contaminadas. Entre estos cationes están los que forman el cobre, plomo, plata, cromo, arsénico, mercurio, cadmio, etc. Cada uno de ellos es tóxico en distintos grados.

La mayoría de los **desechos orgánicos** pueden ser atribuibles a las industrias de la alimentación, del vestido, calzado y papel, entre otras. Estos desechos pueden ser biodegradados hasta cierto límite. En la **Tabla 2.4** se presentan algunas sustancias contaminantes y el tipo de industria de la que proceden.

Sector Industrial	Principales sustancias contaminantes
Construcción	Sólidos en suspensión y metales
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica y cianuros
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácido acético, fórmico y sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc., y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan el balance del oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan el balance del oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afecta el balance del oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestánicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co.

Tabla 2.3 Algunos sectores industriales y los principales contaminantes que producen.

## Tratamiento de aguas contaminadas

Una vez que el hombre comprendió la importancia que el agua tiene para la vida y del grave daño que causa su contaminación, ha diseñado procesos para tratar el agua contaminada y disminuir así su grado de contaminación antes de que sea vertida a los ríos, lagos o mares.

**Existen tres tipos de procesos para tratar el agua contaminada**, los cuales se aplican de acuerdo con el tipo y grado de contaminación y del uso o destino final que tendrá el agua tratada.

**1. Tratamiento primario. Su finalidad es la eliminación de materia en sedimentación y flotante.** Consiste en pasar primeramente el agua por una malla para separar por filtración los materiales flotantes y partículas sólidas en suspensión.

Posterior a la filtración, el agua pasa a un tanque de sedimentación durante dos o tres horas, en el que los sólidos en suspensión, llamados lodos, se asientan; en este tanque las grasas y los aceites flotan en la parte superior en forma de espuma. El agua que queda entre el lodo y la espuma se escurre, y si no va a recibir un tratamiento secundario se le adiciona cloro antes de ser vaciada al drenaje **Figura 2.4**.

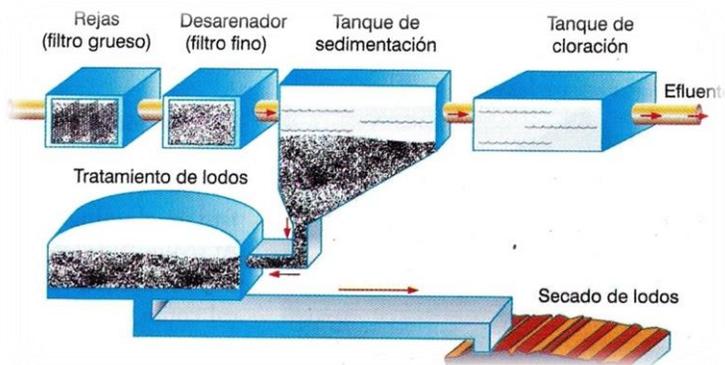


Figura 2.4 Tratamiento primario de las aguas residuales.

El tratamiento primario elimina aproximadamente 60% de los sólidos sedimentables y reduce en un 35% las sustancias biodegradables.

**2. Tratamiento secundario.** El objetivo de este tratamiento es la eliminación de la materia orgánica que permanece después del tratamiento primario. Dicha eliminación se lleva a cabo mediante la acción de bacterias aerobias.

A este tratamiento también se le conoce como **método de lodos activados**. El agua que proviene del tratamiento primario se pasa a un tanque de aeración provocando un desarrollo rápido de bacterias aerobias que degradan la materia orgánica; estas bacterias se aglomeran formando una masa llamada lodo activado **Figura 2.5**.

Estos lodos sedimentan en tanques especiales, y el agua con frecuencia se descarga después de una cloración. La mayor parte de los lodos se regresan al tanque de aeración donde ayudan en la descomposición de los desechos orgánicos del agua que entra al tanque.

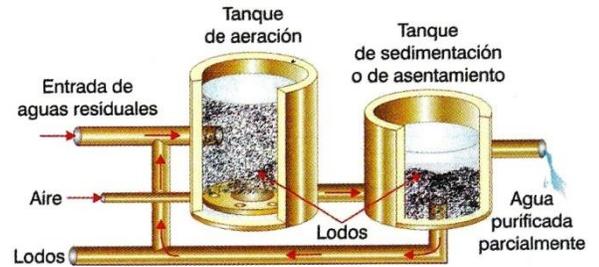
Con los tratamientos primario y secundario se elimina alrededor del 90% de los sólidos suspendidos y 90% de los materiales biodegradables.

**3. Tratamiento terciario.** Este tratamiento tiene por objeto eliminar las sustancias contaminantes como los nitratos, fosfatos, metales pesados o cualquier exceso de sales minerales. Con esto se pretende que el agua de desecho vaya lo menos contaminada posible antes de devolverla al medio.

La aplicación de un tratamiento terciario al agua contaminada resulta muy costosa; en consecuencia, son pocas las instalaciones de tratamiento de aguas residuales que lo aplican. Existen varias clases de tratamientos terciarios, pero los más utilizados son la **floculación-coagulación** y la **filtración-adsorción**.

**Floculación-coagulación.** Consiste en provocar el agrupamiento de materia (floculación) mediante la adición de sustancias químicas llamadas coagulantes; por ejemplo, la alúmina (sulfato de aluminio), la cal (óxido de calcio) y el cloruro férrico. Al sedimentar los flóculos (agrupamiento de materia), el agua de la superficie se separa por decantación. La utilización de la cal como coagulante aumenta el pH del agua, lo que permite extraer los metales pesados al sedimentarse.

**Filtración-adsorción.** Consiste en pasar el agua por una serie de columnas llenas con arena y carbón activado. La finalidad del filtro de arena es retener las partículas que no pasan por los espacios intergranulares del carbón activado. La propiedad de adsorción que tiene el carbón activado **[Ilustración 2.8]** permite eliminar la mayoría de los compuestos orgánicos residuales y los sólidos suspendidos. La ventaja de este método es que el carbón



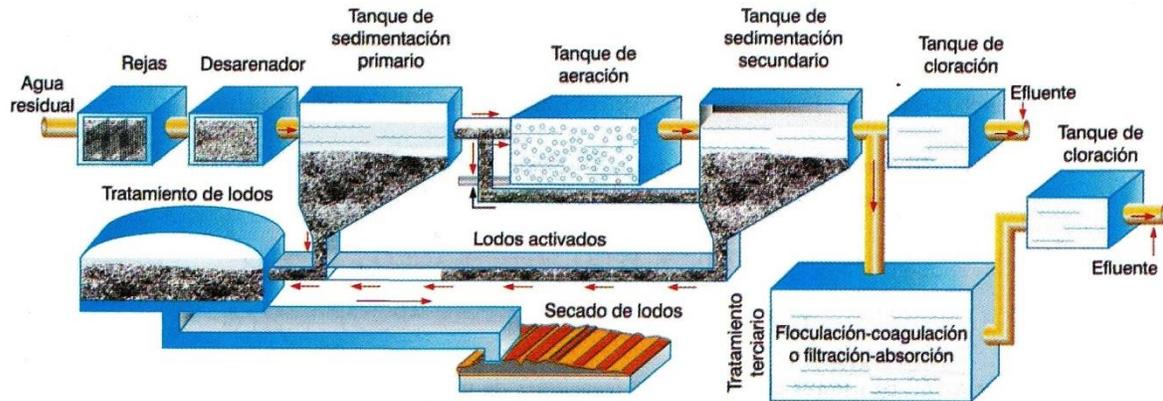
**Figura 2.5.** Tratamiento secundario de las aguas residuales.



**Ilustración 2.8** El carbón activado es un derivado del carbón que ha sido tratado de forma tal, que se convierte en un material extremadamente poroso.

activado se puede regenerar, calentándolo en un horno para quemar la materia orgánica adsorbida.

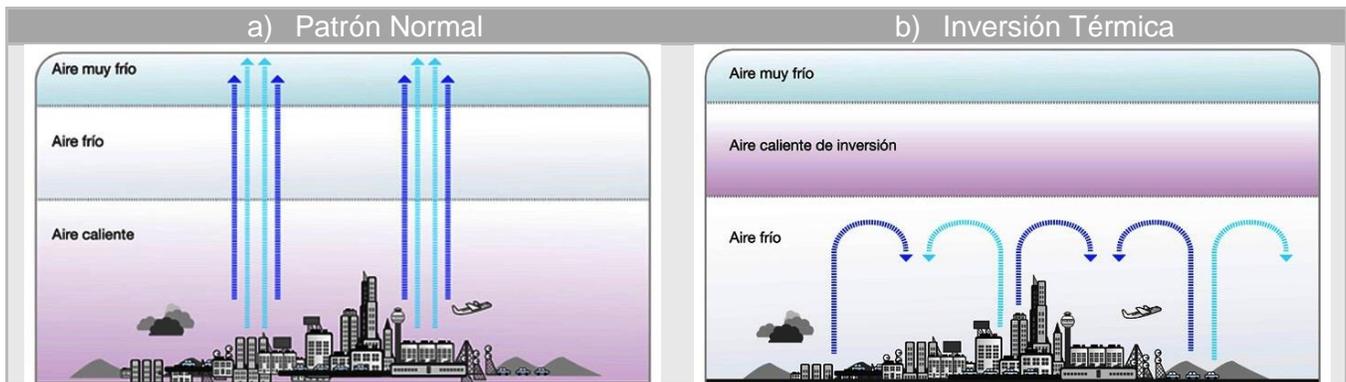
La **Figura 2.6** muestra un diagrama de una planta de tratamiento de aguas contaminadas; en ella se incluyen los tratamientos primario, secundario y terciario.



**Figura 2.6** Diagrama de una planta de tratamiento de aguas residuales.

## 2.3 INVERSIÓN TÉRMICA

La temperatura de la atmósfera disminuye con la altura, por lo que el aire está más caliente cerca del suelo **Figura 2.7a**. Como el aire frío es más denso que el aire caliente, el cual tenderá a subir. Sin embargo, bajo ciertas condiciones este patrón se puede alterar y provocar una **inversión térmica**. Esta se presenta en la atmósfera cuando el aumento de la temperatura a medida que nos alejamos de la superficie se invierte, y en lugar de tener capas más frías de aire en relación con la altura, tenemos capas más tibias **Figura 2.7b**.



**Figura 1.7** a) Generalmente, cuando se incrementa la altura, la temperatura desciende y el aire caliente procedente de la superficie se va enfriando. b) Cuando la temperatura se invierte en relación con la altura, se produce una inversión térmica, que se caracteriza por existir una capa de aire caliente en medio de dos capas de aire frío. Cuando hay contaminación, la capa interior de aire frío impide que los contaminantes se dispersen en la atmósfera, provocando un aumento en su concentración, lo cual afecta gravemente la salud.

En el caso de la ciudad de México, una de las causas físicas que empeora la calidad del aire son las montañas que la rodean, ya que funcionan como un muro de contención del aire contaminado. En los días fríos y secos, por lo general en invierno, es más frecuente que se presente el fenómeno de **inversión térmica**, principalmente por las mañanas. Este fenómeno es muy peligroso para la vida cuando hay contaminación, porque la capa de aire frío, al comprimir los contaminantes contra el suelo, **provoca que la concentración de los gases tóxicos pueda llegar a equivaler 14 veces más de sus valores normales**.

Se dice que la inversión térmica se «rompe» cuando el perfil de temperatura empieza a recuperarse por acción de los rayos solares que comienzan a calentar la superficie de la Tierra en las Primeras horas de la mañana.

## 2.4 ESMOG

La palabra **smog** es de origen inglés; deriva de la fusión de dos vocablos: **smoke**, que significa **humo**, y **fog**, **niebla**. Al castellanizarse la palabra se escribe esmog. En el contexto de la contaminación del aire se han definido dos clases de esmog: **industrial** y **fotoquímico**.

El **esmog industrial** es común en muchas ciudades en las que hay plantas industriales y eléctricas. Se caracteriza por la presencia de humo, niebla, bióxido de azufre y material en forma de partículas, como ceniza y hollín Ilustración 2.9

La mayor parte del esmog industrial se debe a la combustión de hulla, sobre todo la que tiene alto contenido de azufre. En países como Estados Unidos, donde cada vez las medidas de regulación sobre la contaminación son mas estrictas, el esmog industrial es menos común: no así



**Ilustración 2.9.** El smog industrial generalmente se presenta en las grandes ciudades, donde además de tráfico vehicular también existe una gran cantidad de industrias.

en otros países donde este tipo de smog sigue siendo un problema importante por resolver.

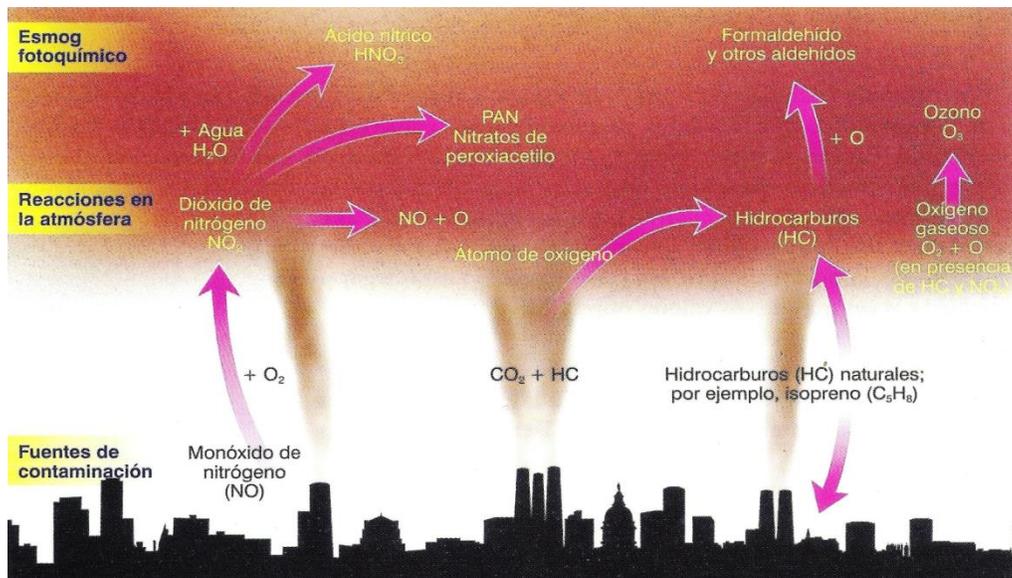


El **smog fotoquímico** se llama así porque la **luz solar** es importante para iniciar las reacciones de formación de los contaminantes secundarios causantes de este tipo de smog. A veces se le llama smog urbano porque, generalmente, se presenta en zonas urbanas y sus inmediaciones; aumenta cuando el tiempo es seco y soleado, durante la mañana y parte de la tarde, y disminuye por la noche, cuando la actividad vehicular también lo hace **Ilustración**

**Ilustración 2.10** El smog fotoquímico, generalmente, se presenta en grandes ciudades donde la presencia de industrias es mínima, pero la actividad vehicular es grande

### 2.10

Las principales sustancias químicas que lo originan son los **hidrocarburos sin quemar**, el **bióxido de nitrógeno producido por los automóviles** y los **peróxidos orgánicos**. La química del smog fotoquímico es muy compleja; cuando se logró obtener a nivel de laboratorio fue posible explicar algunas de las reacciones fotoquímicas fundamentales que dan origen a su formación **Figura 2.8**.

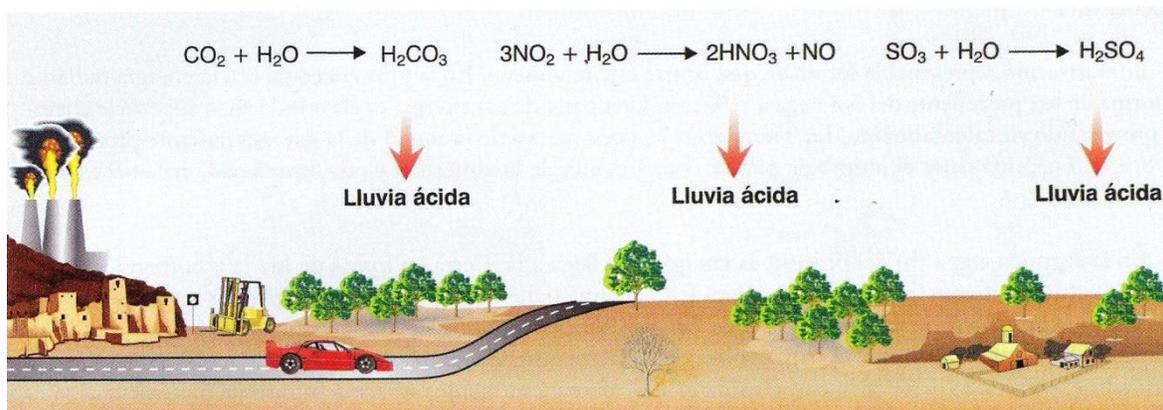


**Figura 2.8** El smog fotoquímico se forma por las reacciones entre los contaminantes secundarios u otro tipo de sustancias presentes en la atmósfera, provocados por la acción de luz solar

## 2.5 LLUVIA ÁCIDA

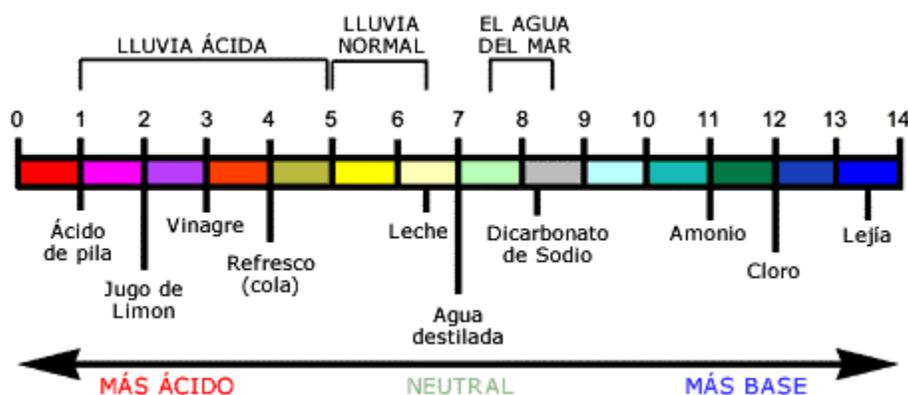
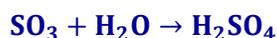
El agua de lluvia libre de contaminantes tiene un pH aproximado de 5.6 (ligeramente ácido) debido a la presencia del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, que al reaccionar con el vapor de agua forma **ácido carbónico**.

La **lluvia ácida** [Figura 2.9] es un líquido que lleva disueltos **ácido sulfúrico** ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), **ácido nítrico** ( $\text{HNO}_3$ ) y **ácido carbónico** ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ); tiene un pH menor a 5.6 [Figura 2.10]



**Figura 2.9** En la atmósfera algunos contaminantes primarios (como el  $\text{SO}_2$  y el  $\text{NO}_2$ ) reaccionan con el vapor de agua para formar ácidos. Cuando vienen disueltos en agua de lluvia se le conoce como lluvia ácida.

La presencia de los ácidos sulfúrico y nítrico se debe a las reacciones que se llevan a cabo entre el trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ) con el vapor de agua, y entre el bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) con el vapor de agua:



**Figura 2.10** Escala de pH que permite clasificar a una sustancia como ácida, neutra o básica.

Debido a la movilidad del aire, los ácidos producidos pueden recorrer grandes distancias antes de precipitarse en forma de lluvia. Cuando la lluvia ácida cae en ecosistemas

acuáticos, disminuye el pH, lo que modifica las condiciones de vida acuática y, en casos severos, puede ocasionar la **muerte de algunas especies** [Ilustración 2.11].

Al caer en los suelos, los componentes de la lluvia ácida reaccionan con el calcio y el magnesio, evitando que éstos sean absorbidos por las plantas. Además, la lluvia ácida disuelve a los metales (como el aluminio), tóxicos para las plantas que crecen en ese suelo, facilitando su absorción y, por lo tanto, un daño a su estructura. Al caer la lluvia ácida sobre las hojas de las plantas las «**decolora**» debido a la **destrucción de la clorofila** [Ilustración 2.12.]



**Ilustración 2.11.** Si la lluvia ácida cae en lagos o ríos puede provocar la muerte en pees y otros animales acuáticos.



**Ilustración 2.12** Cuando la lluvia ácida cae en las hojas de las plantas hace que se tornen amarillas, formando una pequeña capa que impide la realización de la fotosíntesis.

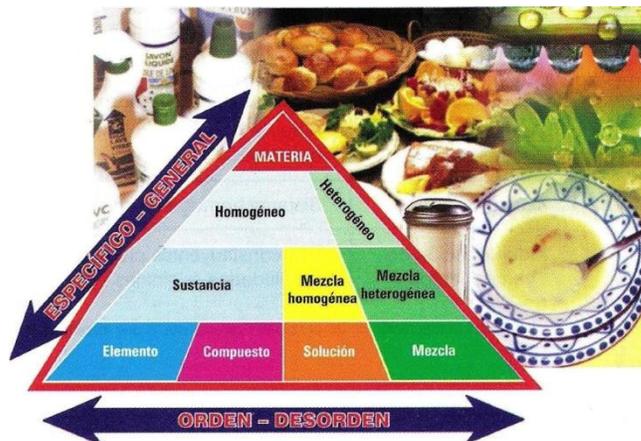
Algunos materiales reaccionan con los ácidos sulfúrico y nítrico, acelerando u ocasionando su corrosión; por ejemplo, **estructuras metálicas y concretos en obras civiles, monumentos y obras de arte al aire libre**, etcétera.

## BLOQUE 3

# COMPRENDES LA UTILIDAD DE LOS SISTEMAS DISPERSOS

### 3.1 CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA

El mundo natural que nos rodea está constituido por materia. En el curso de **Química I** estudiaste de manera puntual consideraciones básicas que te proporcionaron un conocimiento a través de imágenes y conceptos de los diferentes tipos de materiales que conforman el universo. *Concluimos que todo aquello que impactaba a nuestros sentidos era **materia***. A su vez, entendiste que la materia, atendiendo a su composición, se clasifica en **homogénea** y **heterogénea**, considerando sus propiedades generales y específicas tal como se muestra en la **Figura 3.1**.



**Figura 3.1** Diversidad de sustancias y mezclas que impactan en nuestra vida

Si analizas la figura, podrás darte cuenta de que toda muestra de materia se puede clasificar como sustancia pura o mezcla.

No olvides que una **sustancia pura** se refiere a un elemento o compuesto cuya principal característica es que posee una composición definida. Por ejemplo, el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) es un compuesto que contiene 39.3% de Na y 60.7% de Cl en masa. El gas cloro ( $\text{Cl}_2$ ) es un elemento con una composición al 100% de cloro en masa.

Sin embargo, al hablar de una **mezcla**, esta no posee una composición definida; es decir, su composición es variable.

Las mezclas pueden presentarse en dos formas: homogéneas y heterogéneas.

Una **mezcla homogénea** es aquella que presenta uniformidad, a simple vista, en toda su extensión. En química se dice que presenta una sola **fase**. Por ejemplo, las bebidas alcohólicas, la gasolina, mayonesa, jarabes, etc., tienen una composición y apariencia uniforme (**Ilustración 3.1**)

Una **mezcla heterogénea** presenta más de una fase, en donde el límite que las separa, denominada **interface**, permite



**Ilustración 3.1** Las mezclas homogéneas o disoluciones sólo presentan una fase o propiedad en toda su extensión, como lo muestran las disoluciones alcohólicas comerciales



**Ilustración 3.2** Las mezclas heterogéneas presentan más de una fase en toda su extensión; es decir tienen propiedades distintas a simple vista

observar *distintas propiedades y composición*; por ejemplo, la mezcla de agua y aceite, el granito, la arena, la mermelada, etc. (Ilustración 3.2). Si analizas cada ejemplo, concluirás que las mezclas heterogéneas no presentan propiedades uniformes en toda su extensión, ya que varían significativamente su composición de una fase a otra.

A partir de lo anterior, podrás analizar por observación y comparación la diferencia entre sustancias puras y mezclas, tal como se muestra en la **Tabla 3.1**.

Características	Sustancia Pura	Mezcla
Origen	Combinación química	Unión física
Composición	Proporción en masa definida y fija. Elementos o compuestos	Proporción variable formada por elementos o compuestos o ambos
Separación de componentes	A través de procedimientos químicos	A través de procedimientos físico o mecánicos.
Uniformidad	Sistema homogéneo.	Sistema homogéneo y heterogéneo.
Identificación de componentes	Sus constituyentes pierden sus propiedades originales	Sus componentes conservan sus propiedades.

**Tabla 3.1** Comparación de las principales características que identifican a una sustancia pura y a una mezcla.

## 3.2 MÉTODOS DE SEPARACIÓN DE MEZCLAS

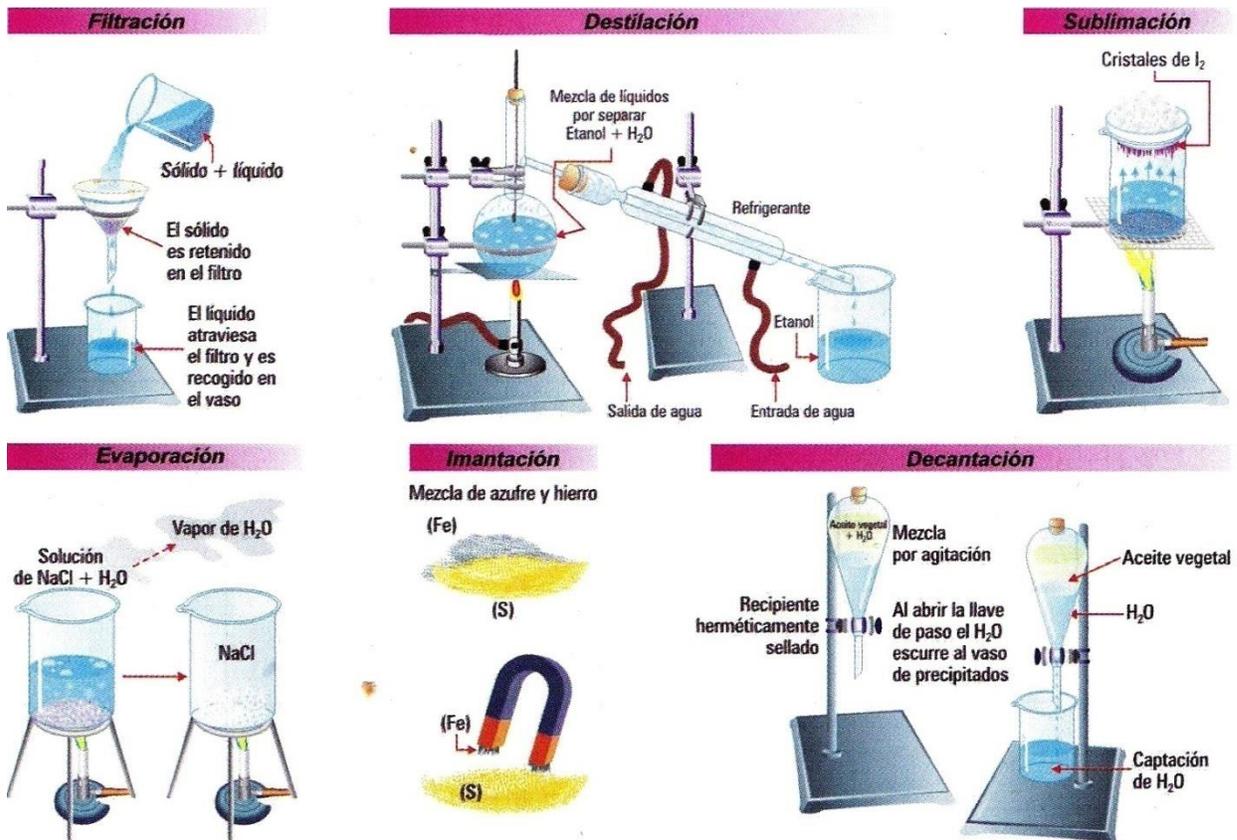
Una **mezcla** se puede separar en cada uno de sus componentes, conservando sus propiedades físicas y químicas mediante procesos físicos experimentales, tales como **filtración, destilación, sublimación, extracción, cristalización, cromatografía, etc.** La finalidad de estos es obtener sustancias puras a partir de mezclas con un grado de pureza que permita aplicarse en la fabricación de medicinas, alimentos y otros productos químicos de importancia para el ser humano.

Debe entenderse que obtener una sustancia pura implica una serie de purificaciones continuas hasta separar los componentes de la mezcla en sus propiedades específicas (**Figura 3.2**). A partir de esas propiedades, pueden plantearse métodos físicos de separación, tal como se indica en la **Tabla 3.2**.

Método	Propiedad
Filtración	Tamaño de la partícula y baja solubilidad.
Destilación	Diferencia en el punto de ebullición.
Sublimación	Diferencia en el punto de sublimación
Extracción	Diferencia en la solubilidad en dos disolventes inmiscibles

Cristalización	Diferencia de solubilidad en disolventes fríos y calientes
Cromatografía	Diferencia de difusión de una sustancia a través de otra fija
Evaporación	Diferencia en el punto de evaporación de los componentes de la mezcla
Centrifugación	Fuerza centrífuga sobre partículas más densas.
Imantación	Propiedades magnéticas de los componentes
Tamizado	Tamaño de las partículas en relación con el diámetro de los orificios de la malla

**Tabla 3.2** Principios en los que se basan algunos métodos físicos de separación de mezclas.



**Figura 3.2** La separación de los componentes de un sistema disperso se relaciona con sus propiedades específicas; de ello depende el método aplicado o seleccionado.

Así mismo, dependiendo del tipo de mezcla en relación con el estado de agregación de sus componentes, pueden presentarse los siguientes ejemplos de separación de mezclas (**Tablas 3.3**)

Tipo de mezcla	Método de separación	Ejemplo
Sólido con sólido	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Solubilidad en agua</li> <li>2) Solubilidad en solvente orgánico</li> <li>3) Sublimación</li> <li>4) Magnetismo</li> <li>5) Cristalización</li> </ol>	KCl / arena S/Fe Yodo/ arena Fe/S KNO <sub>3</sub> /KCl
Sólido insoluble en líquido	Filtración	Arena/Agua
Sólido soluble en líquido	Evaporación	NaCl/agua
Líquido con líquido	Destilación fraccionada	Petróleo
Líquido con gas	Por ebullición se libera el gas	Agua/aire
Gas con gas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Licuefacción y posteriormente destilación fraccionada.</li> <li>2) Solubilidad en un líquido</li> <li>3) Difusión</li> </ol>	O <sub>2</sub> /N <sub>2</sub> CO <sub>2</sub> /CO H <sub>2</sub> /N <sub>2</sub>

Tabla 3.3 Métodos de separación utilizados para cada tipo de mezcla.

Posteriormente analizaras que las mezclas, emulsiones y suspensiones se separan por medios mecánicos; los **coloides**, por **métodos fisicoquímicos**, y las **soluciones**, por **destilación** o **cristalización**.

### 3.3 SISTEMAS DISPERSOS

La naturaleza posee un número ilimitado de tipos de mezclas que coexisten en ella y tienen un papel primordial en los distintos sistemas químicos, físicos y biológicos. Estos sistemas se clasifican en tres importantes clases: **disoluciones**, **coloides** y **suspensiones**. La propiedad que las distingue es el tamaño de las partículas del soluto.

#### DISOLUCIONES

Las **disoluciones** son las mezclas más abundantes en el ambiente. En general, una **disolución** es una mezcla de por lo menos una sustancia disuelta en otra. Por ejemplo, la atmósfera es una disolución de gases entre oxígeno y nitrógeno

**[Ilustración 3.3]** El bióxido de carbono disuelto en el agua constituye la gasificación de las bebidas carbonatadas o refrescos comerciales. Asimismo, al preparar una taza de té o café, se utiliza agua caliente para disolver las sustancias o constituyentes que se extraen de los granos de café y de las hojas de algunas plantas; otro ejemplo vivencial es el agua de los océanos que forman una inmensa disolución con un gran número de sales disueltas como el cloruro de sodio. En un



Ilustración 3.3 Las disoluciones son mezclas homogéneas y son las más abundantes en la naturaleza.

hospital el uso de antisépticos, como la tintura de yodo, es un ejemplo más de disolución (yodo disuelto en alcohol).

Podrás notar que existe una estrecha relación entre los componentes de la disolución, por lo que concluiremos que una disolución consta de una sustancia llamada **soluto** que se dispersa en otra llamada **disolvente**. Se deben delimitar las proporciones en las que participa cada componente de la mezcla homogénea o disolución. *El **soluto** se encuentra en menor proporción, a diferencia del disolvente, el cual está en mayor proporción.*

Al correlacionar las proporciones del soluto y disolvente con sus propiedades derivadas a partir de un estado físico o de agregación, se obtendrán distintos tipos de disoluciones en el estudio de la química, como se muestra en la **Tabla 3.4**.

Tipo de mezcla	Ejemplo	Soluto	Disolvente
<b>Disoluciones gaseosas</b> Gas en gas	Atmósfera	O <sub>2</sub> (gas)	N <sub>2</sub> (gas)
<b>Disoluciones líquidas</b> Gas en un líquido Líquido en un líquido Sólido en un líquido	Agua mineral Vinagre Tinta de yodo	CO <sub>2</sub> (gas) CH <sub>3</sub> COOOH (líquido) Yodo (sólido)	H <sub>2</sub> O (líquido) H <sub>2</sub> O (líquido) Alcohol (líquido)
<b>Disoluciones sólidas</b> Líquido en un sólido Sólido en un sólido	Amalgama dental Acero	Hg (líquido) Carbono (sólido)	Ag (sólido) Hierro (sólido)

**Tabla 3.4** Clasificación de los distintos tipos de mezclas atendiendo al estado físico del soluto y del disolvente.

Las **disoluciones** también se clasifican de acuerdo con su **condición eléctrica**. Esto se refiere a la capacidad que poseen ciertas disoluciones de permitir la conducción de la energía eléctrica a través de la mezcla homogénea; por ello, podemos hablar de disoluciones conductoras y no conductoras. De manera específica se les denominará como disoluciones electrolíticas y no electrolíticas, dependiendo si el soluto es una sustancia electrolítica o no electrolítica ya que esta característica se relaciona con este componente.

Las **sustancias electrolíticas** pueden disolverse total o parcialmente en agua. Si se disuelven totalmente, se llaman **electrolitos fuertes**; si sólo se disuelve una parte, se llaman **electrolitos débiles**.

Esto se debe a la capacidad de ionización del soluto en agua, por lo tanto:

- Los electrolitos fuertes se ionizan totalmente en un medio acuoso.
- Los electrolitos débiles se ionizan Parcialmente.

Otra forma de clasificar a las disoluciones es atendiendo la cantidad de soluto que puede solubilizarse en un volumen determinado de disolvente.

### Solubilidad

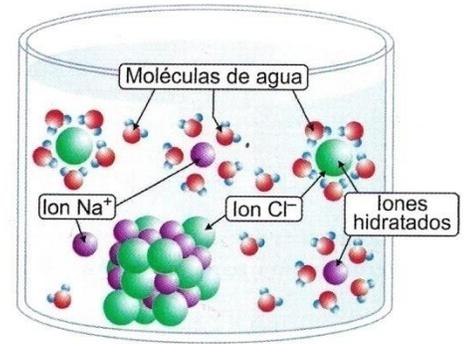
La **solubilidad** de una sustancia se define como el número máximo de gramos de sustancia que se puede solubilizar en 100 gramos de disolvente a cierta temperatura **Tabla 3.5**

Solubilidad [g (soluto)/100 g (H <sub>2</sub> O)]		
Soluto	20 °C	50 °C
NaCl	36.0	37.0
KCl	34.0	42.6
NaNO <sub>3</sub>	88.0	114.0
KClO <sub>3</sub>	7.4	19.3
AgNO <sub>3</sub>	222.0	455.0
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	203.9	260.4

**Tabla 3.5** Soluciones saturadas a 20°C y a 50°C

## El proceso de solubilidad

Cuando un compuesto iónico como el cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) se pone en contacto con el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), éste se disocia en iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) e iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ); estas partículas iónicas son rodeadas por los polos positivo y negativo del agua. A este proceso de orientación de las moléculas del agua alrededor de los iones se llama **hidratación** **Figura 3.3**.



**Figura 3.3** La hidratación es un proceso de interacción entre los iones de las sales con las moléculas de agua a través de la atracción electrostática, formando agregados moleculares, en los procesos de disolución.

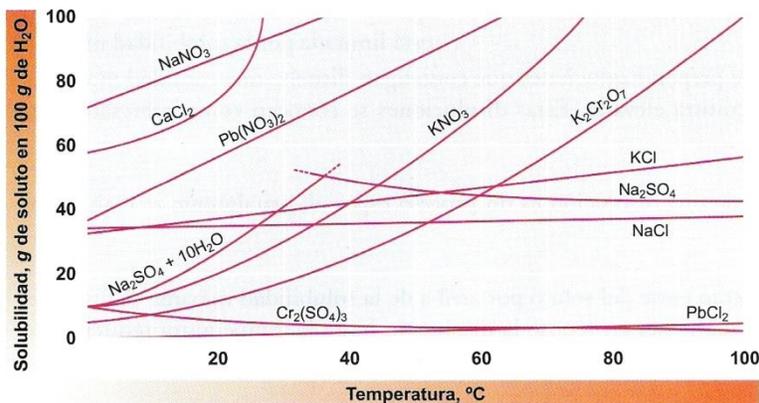
Para que una sustancia se disuelva en agua debe ser polar; es decir, cuanto más polar sea una sustancia más soluble será en agua. En química existe una regla de solubilidad que enuncia: «**lo semejante disuelve a lo semejante**». Esto quiere decir que disolventes polares disuelven solutos polares y disolventes no polares disuelven solutos no polares.

El proceso de solubilidad se relaciona con la absorción o emisión de calor. Por tanto, el proceso de solubilidad puede ser endotérmico o exotérmico.

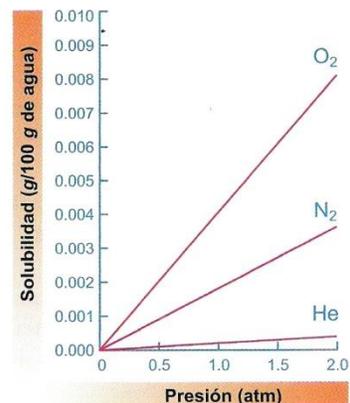
## Factores que afectan la solubilidad

Dentro de los factores que alteran o modifican la solubilidad de un soluto en un disolvente pueden estar:

1. **Tamaño de las partículas del soluto.** A mayor superficie de contacto aumenta la solubilidad, y a menor superficie de contacto con el disolvente la solubilidad disminuye.



**Figura 3.4** Gráfica que muestra la dependencia del proceso de solubilidad con la temperatura de algunas sales.



**Figura 3.5** Gráfica que muestra la variación de la solubilidad de algunos gases por efecto de su presión.

2. **Naturaleza química de los componentes de la disolución.** La naturaleza de los componentes de la solución se refiere a las sustancias polares y no polares cuya afinidad entre soluto y disolvente aumentará o disminuirá la solubilidad.
3. **Temperatura. La temperatura afecta la velocidad y el grado de solubilidad.** Generalmente, la solubilidad de solutos sólidos aumenta con la temperatura, tal como se muestra en la Figura 3.4

Al disminuir la temperatura la solubilidad sufre un decremento. Cuando el soluto es un gas, al aumentar la temperatura, la solubilidad disminuye, ya que las moléculas del gas escapan de la disolución

4. **Presión.** El efecto de la variación de presión es prácticamente nulo en la solubilidad de solutos sólidos y líquidos, pero afecta la solubilidad de los gases. A mayor presión, mayor solubilidad de un gas Figura 3.5. Este fenómeno lo observamos en las bebidas carbonatadas, ya que se embotellan a alta presión, pero cuando se destapan, el gas disuelto se vuelve insoluble y produce burbujas.

## Disoluciones empíricas

De acuerdo con lo anterior, las disoluciones pueden ser de tres tipos:

1. **Disolución insaturada.** Cuando a cierta temperatura, en una cantidad dada de disolvente, se tiene disuelto menos soluto del que se puede disolver en ese disolvente se dice que la solución es insaturada **Ilustración 3.4a.**

2. **Disolución saturada.** Una solución es saturada cuando a una temperatura determinada, en una cantidad dada de disolvente, se tiene disuelta la máxima cantidad de soluto que se pueda disolver **Ilustración 3.4b**

3. **Disolución sobresaturada.** A pesar de que la concentración de una solución está limitada por la solubilidad máxima del soluto, es posible preparar soluciones que contengan disuelta una cantidad mayor de soluto a una temperatura elevada. Estas disoluciones se conocen como sobresaturadas **Ilustración 3.4c**



**Ilustración 3.3** Representación de una disolución a) insaturada, b) saturada, c) sobresaturada.

La sobresaturación de una disolución es un proceso especial; usualmente se realiza por calentamiento.

A través de este proceso parte del soluto por arriba de la solubilidad máxima se disuelve. Al enfriar lentamente y mantener en reposo la disolución hasta la temperatura requerida se obtiene la disolución sobresaturada.

En este tipo de disoluciones el soluto se precipita fácilmente al agitarlas o bien al adicionarles una pequeña cantidad más de soluto.

## Disoluciones diluidas y concentradas

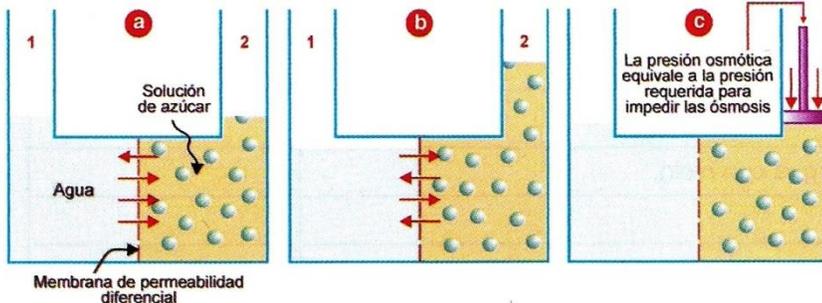
Es necesario hacer hincapié en que cuando se trata de comparar cualitativamente varias disoluciones del mismo soluto en el mismo disolvente se utilizan los siguientes términos: disoluciones diluidas y disoluciones concentradas, para distinguir que unas tienen más soluto que otras en la misma cantidad de disolvente.

## Ósmosis

El fenómeno de la ósmosis fue descubierto en 1748 por el físico francés **Jean Antoine Nollet** (1700-1770), al experimentar cubriendo el extremo inferior del tubo de vidrio con papel pergamino, llenándolo posteriormente con una disolución acuosa de sacarosa en el

extremo opuesto del tubo. Cuando sumergió el extremo cubierto del tubo por el pergamino en un vaso de precipitado con agua, el nivel de la disolución en el extremo superior ascendió, demostrando con ello que la difusión de las moléculas del agua desde el vaso de precipitado, a través de la membrana, era más rápida que la difusión de las moléculas de sacarosa en dirección opuesta.

*La **ósmosis** es la transferencia de disolvente, que regularmente es el agua a través de una membrana semipermeable (una barrera que permite el paso del agua, pero no las partículas del soluto), existiendo con ello una diferencia de concentración que va de un espacio de menor concentración de soluto a otro de elevada concentración.*



**Figura 3.6** a) Transferencia de disolvente; b) Transferencia de soluto y disolvente; c) Presión osmótica. Efecto del peso de la disolución.

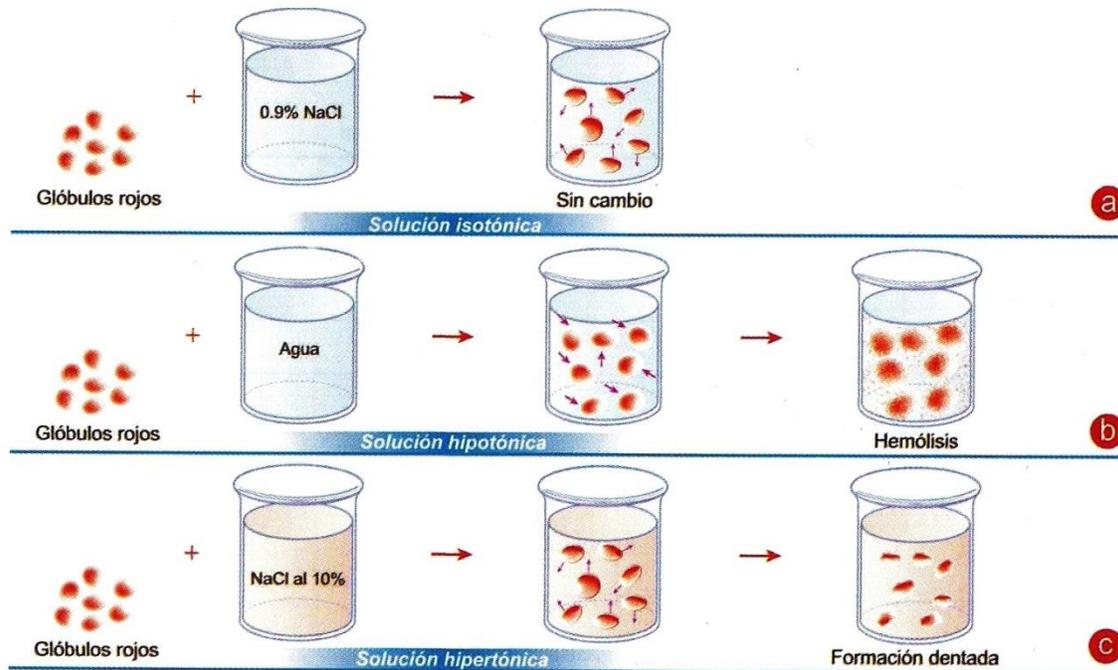
Por ejemplo, si el agua pura y una solución de azúcar están separadas por una membrana semipermeable, las moléculas de agua fluyen o se transportan por la membrana hacia la solución de mayor concentración de azúcar a una velocidad más alta de la que

regresan, lo que provoca que el volumen se incremente. El aumento de peso de la solución de azúcar ejerce una presión hacia abajo, llamada **presión osmótica**. En el azúcar esta presión empuja el agua de regreso a través de la membrana semipermeable y evita cualquier otro incremento de volumen **Figura 3.6**.

La **presión osmótica** establece una relación directamente proporcional al número de partículas en la disolución; es decir, a mayor número de partículas disueltas, más alta será ésta. En el organismo humano la sangre, los líquidos de los tejidos, la linfa y el plasma ejercen presión osmótica. Las disoluciones fisiológicas que se emplean para Sustituir o reemplazar los líquidos del organismo, como las soluciones de NaCl al 0.9% (solución salina fisiológica) o las disoluciones de glucosa al 5%, generalmente no tienen la misma clase (le partículas que los líquidos del cuerpo, pero sí ejercen la misma presión osmótica.

### Disoluciones isotónicas, hipotónicas e hipertónicas

Las **disoluciones isotónicas** son aquellas donde la concentración del soluto es la misma en ambos lados de la membrana de la célula, por lo tanto, la **presión osmótica** en la misma disolución isotónica es la misma que en los líquidos del cuerpo y no altera el volumen de las células. Por ejemplo, si se coloca un eritrocito en una disolución isotónica retiene su volumen normal debido a que hay un flujo igual de agua hacia el interior y exterior de la célula **[Figura 3.7a]**.



**Figura 3.7** a) Disolución isotónica. Diferencia de presión osmótica en equilibrio; b) Disolución hipotónica. La diferencia de presión osmótica del agua es menor que la presión osmótica de los glóbulos rojos. Aumenta el tamaño de los glóbulos hasta que se rompen (hemólisis); c) Disolución hipertónica. La diferencia de presión osmótica de los glóbulos es menor que la presión osmótica de la disolución salina. Disminuye el tamaño de glóbulos (crenación).

Si se coloca un eritrocito en una disolución no isotónica, la diferencia de presión osmótica en el interior de la célula y en el exterior ocasiona un cambio en el volumen celular. El agua pura se considera como **disolución hipotónica**, ya que su presión osmótica es menor que la de las células. La penetración de agua a la célula se debe entonces a una diferencia de presión osmótica; este aumento de líquido provoca que la célula se hinche y posiblemente se rompa. Dicho proceso se denomina hemólisis. Este fenómeno singular lo apreciamos cuando se colocan alimentos deshidratados, como pasas o fruta seca, en agua. Así, el agua entra en las células del alimento, aumentando su volumen (se hincha) y adquiriendo una apariencia lisa [Figura 3.7b]

Ahora bien, si colocaras eritrocitos en una disolución salina de NaCl al 10%, y sabiendo que los eritrocitos tienen una presión osmótica igual a la de una disolución de NaCl al 0.9%, la disolución de NaCl al 10% tiene **presión osmótica ligeramente superior**; ésta es una **disolución hipertónica**. En este caso, la diferencia de presión osmótica ocasiona que salga agua de los eritrocitos, la célula pierde líquido y se contrae; este proceso recibe el nombre de **crenación**. Un proceso similar sucede cuando se preparan curtidos, en cuyo caso la solución salina hipertónica (salmuera) provoca que los pepinos se arruguen, ya que pierden agua [Figura 3.7c.]

## Coloides

La materia se puede presentar en diversos tamaños, desde lo más pequeño hasta lo más grande; por ejemplo, algunas partículas como los granos de arena se pueden observar a simple vista; existen otras formas materiales más diminutas que pueden ser observadas a través de microscopios ordinarios, tal es el caso de los glóbulos rojos de la sangre y las bacterias; pero aun en el mundo microscópico encontraremos partículas como las moléculas de hemoglobina que se pueden apreciar por medio del microscopio electrónico.

Hoy en día se han descubierto evidencias de átomos con la aplicación de los microscopios de barrido y filtración cuántica, tecnología de punta en la época actual. Por lo anterior, podrás darte cuenta de que el tamaño o magnitud de las partículas se relaciona de manera directa con el tipo de mezclas homogéneas o heterogéneas. Las moléculas de hemoglobina, mayores que las moléculas e iones ordinarios, son demasiado pequeñas para verlas en un microscopio óptico.

Las **partículas coloidales** tienen propiedades intermedias entre las disoluciones verdaderas y las suspensiones; se encuentran dispersas sin que estén unidas considerablemente a 1 moléculas del disolvente y no se sedimentan al dejarlas en reposo. Estas conclusiones fuer estudiadas, en 1860, por el químico británico Thomas Graham (1805-1869) El observó que sustancias como el almidón, la gelatina, el pegamento y la albúmina de huevo se difundían con gran lentitud al colocarlas en agua, en comparación con el azúcar o la sal. Asimismo, propiedades como la difusión a través de una membrana semipermeable y la capacidad de poder estabilizar no eran propias de los coloides.

De esto se desprenden cuatro consideraciones básicas de los sistemas coloidales

1. Tienen masa molar alta.
2. Su tamaño no es relativamente grande.
3. A pesar de su tamaño, no lo son tanto para asentarse.
4. A nivel microscópico son heterogéneas.

Actualmente se sabe que los coloides son mezclas cuyas partículas (fase dispersa) se distribuyen de manera uniforme a través de un medio que actúa como disolvente (fase continua) o medio de distribución o dispersante.

## Clasificación

Los coloides se clasifican, en relación con el estado de agregación o físico de la fase dispersa y el medio dispersante, como se puede apreciar en la **Tabla 3.6**.

Fase dispersa	Medio dispersante	Tipo	Ejemplos
Líquido	Gas	Aerosol	Niebla, nubes, rocío.
Sólido	Gas	Aerosol	Humo, virus en el aire, escapes, gases de los automóviles.
Gas	Líquido	Espuma	Crema batida, crema para rasurar, espuma para extinguir incendios.
Líquido	Líquido	Emulsión	Magnesio, leche, crema facial.
Sólido	Líquido	Sol	Detergentes, pinturas, leche de magnesia,
Gas	Sólido	Espuma	Hule espuma, esponja, malvavisco, piedra pómez, unicel.
Líquido	Sólido	Gel	Jalea, quesos, mantequilla, gelatina, gel para el cabello.
Sólido	Sólido	Sol sólido	Aleaciones, gemas coloridas.

**Tabla 3.6** Clasificación de los diferentes tipos de coloides atendiendo al estado de agregación de sus componentes, fase dispersa y medio.

Los coloides también pueden clasificarse en función de su afinidad o repulsión con el medio de dispersión; por ello se habla de coloides liofóbicos (repelen al medio dispersante) y liofílicos (afín al medio de dispersión). De manera específica, si el medio de dispersión es el agua, entonces reciben las siguientes denominaciones.

- a) Coloides hidrofóbicos (repelen al agua). Por ejemplo, sustancias muy insolubles como el cloruro de plata (AgCl) y azufres.
- b) Coloides hidrofílicos (afines al agua). Por ejemplo, la gelatina.

## Propiedades

Los coloides pueden presentar otras propiedades especiales que permiten identificarlos y son:

1. **Efecto óptico.** La dispersión de la luz es una propiedad característica de los coloides. A este fenómeno se le llama efecto Tyndall [\[Ilustración 3.6\]](#).

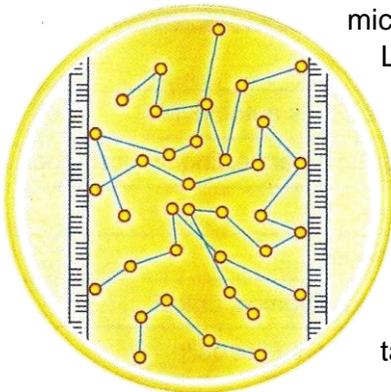


**Ilustración 3.6** El efecto Tyndall se caracteriza por la dispersión de la luz provocada por partículas coloidales en suspensión.

2. **Efecto de movimiento.** Los coloides presentan un movimiento en zig-zag de forma aleatoria; esto provoca que las partículas suspendidas no sedimenten y se mantengan en movimiento indefinidamente. A este comportamiento se le denomina movimiento browniano [\[Figura 3.8\]](#)

3. **Floculación o coagulación.** Un fenómeno interesante que presentan las dispersiones coloidales es que éstas pueden absorber partículas cargadas eléctricamente en su superficie. Las partículas que se ligan o unen sobre la superficie del coloide pueden ser positivas o negativas. En los sistemas coloidales, cuando las partículas de la fase dispersa se unen con otras por diferencia de carga, se dice que el coloide flocula o coagula.

Este proceso característico de los sistemas coloidales se presenta principalmente en las dispersiones de sustancias sólidas en un líquido o un gas, donde el tamaño de sus partículas es mayor a la de una décima de micra, razón por la cual son visibles al microscopio.



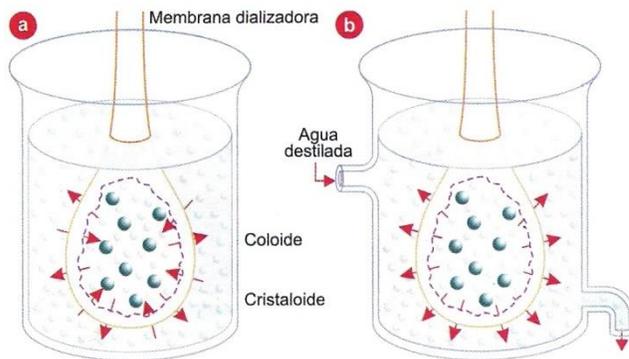
**Figura 3.8** El movimiento browniano es un sistema coloidal; es aleatorio y producto de las colisiones moleculares de sus partículas que describen una trayectoria en zig-zag.

La floculación es un fenómeno de los coloides liófilos en los cuales hay poca afinidad por el medio dispersante y al precipitar o flocular sus partículas forman sales. Los coloides liófilos estables floculan o coagulan introduciendo especies jónicas en la fase dispersa, por ejemplo, el cuajado de la leche.

4. **Superficie de adsorción.** Una característica de los sistemas coloidales es su gran superficie. Esto se debe al tamaño tan pequeño que poseen, las cuales proveen una gran superficie efectiva de contacto con la fase dispersante. Por lo anterior, este tipo de sustancias coloidales se emplean comúnmente en los procesos de adsorción mediante la unión de partículas (átomos, moléculas e iones) en la superficie de sólidos o líquidos.

## Diálisis

La **diálisis** es un proceso similar a la ósmosis. En ésta, una membrana semipermeable llamada membrana dializadora permite el paso de las partículas, tales como las moléculas y iones pequeños en solución; al igual que las moléculas de agua, pasan a través de ella, pero retiene las partículas de mayor dimensión, como son los coloides. Por lo tanto, la diálisis es un procedimiento para separar partículas en soluciones de coloides. [Figura 3.9.]



**Figura 3.9** Transferencia de masa en un sistema coloidal en un disolvente puro. a) Sistema coloidal en agua; b) Separación de los componentes de un sistema coloidal.

La diálisis se usa para la purificación de sales coloidales y para algunas aplicaciones especializadas, por ejemplo, en el tratamiento de

pacientes con deficiencia renal. Una función primordial del riñón es eliminar productos de desecho metabólico como la urea y la creatina, que deben eliminarse de la sangre.

## Suspensiones

Una **suspensión** es una mezcla heterogénea no uniforme y es diferente a los sistemas coloidales. Una característica distintiva de las suspensiones es el tamaño de sus partículas, ya que son muy grandes y perceptibles a simple vista. Si aplicáramos un método de separación, por ejemplo, la filtración, las partículas de la suspensión quedarían atrapadas en el filtro o membrana porosa.

Las partículas de una suspensión son afectadas por la acción de la gravedad, ya que después de preparar la mezcla el soluto, debido a su peso, precipita. Las suspensiones tienen una gran aplicación en la industria farmacéutica; recordarás que en diversos medicamentos habrás leído esta leyenda «agitar bien antes de usarse» esto con la finalidad de suspender todas las partículas antes de ingerir el medicamento; por ejemplo, kaopectate, peptobismol, desparasitantes líquidos, la loción de silicato de zinc, etcétera [Ilustración 3.7.]

En las plantas de tratamiento de agua, específicamente en la etapa de clarifloculación, se puede observar la aplicación de las propiedades de las suspensiones para eliminar la turbiedad del agua mediante la adición de sulfato de aluminio, que actúa como coagulante al reaccionar con las partículas suspendidas que forman flóculos, que al hacer pasar el agua a través de filtros, éstos quedan atrapados, dejando fluir el agua limpia. Posteriormente, si este fluido es destinado como agua potable, se le adiciona cloro, para distribuirla por medio de la red a las poblaciones urbanas.

En la **Tabla 3.7** se presenta un resumen de los tres tipos de mezclas estudiadas.



**Ilustración 3.7.** Los medicamentos que utilizamos para aliviar las molestias estomacales son suspensiones.

Tipo de mezcla	Tipo de partícula	Visibilidad de las partículas	Movimiento	Efecto de luz	Precipitación	Separación
Disolución	Pequeñas partículas como	Invisible	Movimiento molecular	Transparente	Las partículas no precipitan	Pasa a través de

	átomos, iones o moléculas individuales, de menos de 1nm.					filtros y membranas
Coloide	Moléculas grandes, conjunto de moléculas o iones de 1 a 1000 nm.	Visible en un microscopio electrónico	Movimiento Browniano	Ocurre en el efecto Tyndall	Las partículas no precipitan	Pasa a través de filtros, pero no de membranas
Suspensión	Partículas grandes más de 1000 nm.	Visible a simple vista y en un microscopio óptico.	Tiene movimiento solo por la gravedad	Opaca (no transparente)	Las partículas precipitan con rapidez	No pasa a través de filtros o membranas.

**Tabla 3.7** Comparación de las principales propiedades o características básicas que diferencian y particularizan a los sistemas dispersos: disolución, coloide y suspensión.

### 3.4 UNIDADES DE CONCENTRACIÓN DE LOS SISTEMAS DISPERSOS

Una de las principales características de las disoluciones es la variación en su composición; es decir, la proporción de sus componentes (soluto-disolvente) no es constante. Por consiguiente, se puede establecer una relación entre la cantidad de soluto en una determinada cantidad de disolvente o disolución. En términos químicos, este tipo de relación recibe el nombre de **concentración**.

La concentración de las disoluciones la podemos expresar de manera cualitativa, cuando hablamos de disoluciones diluidas, insaturadas, concentradas, saturadas o sobresaturadas. Sin embargo, para fines cuantitativos, debemos especificar, de manera más detallada, la relación ponderal entre el soluto y el disolvente o la disolución. Para expresar este tipo de relaciones existen dos formas:

- a) En unidades físicas
- b) En unidades químicas

#### Unidades físicas

Una forma de expresar la concentración de las disoluciones es relacionando la cantidad del soluto con la del disolvente mediante la aplicación de unidades de masa como los gramos y las unidades de volumen como los mililitros, en una proporción centesimal; éstas representan las unidades de concentración física de las disoluciones.

La solución de problemas de disoluciones, tanto en unidades de concentración físicas como químicas, se puede plantear de dos maneras:

1. Cálculo directo de la unidad de concentración y
2. Cálculo de la masa o volumen del soluto o disolvente.

Como a continuación se ejemplifica.

### 1. Porcentaje peso a peso (% p/p)

Relaciona la cantidad en gramos de soluto presente en 100 g de disolución. Por ejemplo, en una disolución acuosa al 10% de NaOH hay 10g de NaOH en 90g de H<sub>2</sub>O. Por lo tanto, se plantea la siguiente fórmula.

$$\text{Expresión Analítica: } \% p/p = \frac{\text{gramos de soluto}}{\text{gramos de disolución}} \times 100$$

### 2. Porcentaje peso a volumen (% p/v)

Es una manera de expresar los gramos de soluto que existen en 100 mililitros de disolución.

$$\text{Expresión Analítica: } \% p/v = \frac{\text{gramos de soluto}}{\text{mililitros de disolución}} \times 100$$

### 3. Porcentaje volumen a volumen (% v/v)

Se emplea para expresar concentraciones de líquidos y relaciona el volumen de un soluto en un volumen de 100 mililitros de disolución. Es decir, si tenemos una disolución acuosa al 5% en volumen de alcohol etílico, eso indica que hay 5ml de alcohol etílico en 95 mL de H<sub>2</sub>O.

$$\text{Expresión Analítica: } \% v/v = \frac{\text{mililitros de soluto}}{\text{mililitros de disolución}} \times 100$$

### 4. Partes por millón (ppm)

Es un tipo de concentración se utiliza cuando se tienen disoluciones muy diluidas. De manera análoga, al porcentaje en peso que representa el peso de soluto de 100 partes de disolución, las partes por millón se refieren a las partes de soluto por cada millón de partes de disolución. Por ejemplo, una disolución que tiene 8 ppm de iones de Cl<sup>-</sup>, significan que hay 8 partes de Cl<sup>-</sup> en un millón de partes de disolución.

De manera cuantitativa podemos plantear las siguientes consideraciones.

$$\text{Expresión Analítica: } ppm = \frac{\text{miligramos de soluto}}{\text{kg de disolución}} \text{ o } ppm = \frac{\text{miligramos de soluto}}{\text{l de solución}}$$

## Unidades químicas

Al efectuarse una reacción química, ésta debe ajustarse a los principios o leyes que rigen las relaciones ponderales entre las sustancias que transformarán sus identidades originales por otras nuevas. Generalmente, la concentración de las sustancias que realizan el cambio químico se expresa en unidades con un amplio sentido de aplicación

en el lenguaje disciplinario de la química. Por ello, el mol y los equivalentes gramo determinarán en gran medida su aplicación en la concentración de las soluciones.

### 1. Solución molar (M)

La Molaridad se expresa por la literal M y relaciona los moles de soluto por el volumen de la solución expresada en litros.

Expresión analítica:

$$\text{Molaridad} = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{L de disolución}}$$

Por lo tanto:

$$M = \frac{n}{V}$$

Donde:

n = número de moles de soluto.

V = volumen de disolución.

M = concentración molar de disolución

Preparación de una solución 1.0 molar o 1.0 M de sulfato de potasio  $K_2SO_4$



### 2. Solución molal (m)

La molalidad es una concentración de disoluciones que se relaciona los moles de soluto por los kilogramos de disolvente. Este tipo de concentración es utilizada en la determinación de algunas propiedades coligativas de las disoluciones (aumento en el punto de ebullición y disminución o abatimiento en el punto de congelación.)

Expresión analítica:

$$m = \frac{n}{\text{kg disolvente}}$$

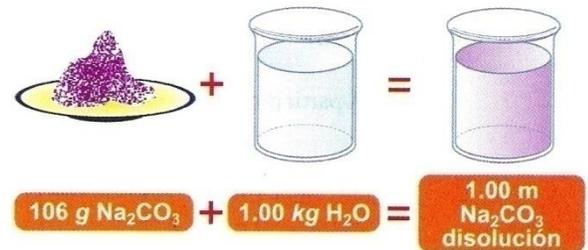
Donde:

n= moles de soluto.

Kg disolvente= kilogramo de disolvente

m=concentración molal de la disolución.

Preparación de una disolución 1.0 molal o 1.0 m de carbonato de sodio ( $Na_2CO_3$ )



### 3. Solución normal (N)

La normalidad es una concentración de las disoluciones utilizada en los procesos de neutralización y titulación entre las sustancias ácidas

Preparación de una solución 1.0 Normal o 1.0 N de  $Na_2CO_3$



y básicas. Este tipo de concentración relaciona los equivalentes gramo del soluto por los litros de solución.

Expresión analítica:

$$N = \frac{E}{V}$$

Donde:

E= Eq-g soluto

V = litros de solución

N = concentración normal.

En este tipo de concentración utilizaremos otra unidad química de masa denominada **Equivalente-gramo (Eq-g)** que corresponde a la cantidad de materia que de manera proporcional intervendrá en los cambios químicos o bien a la medida del poder de combinación que se utiliza para cálculos en reacciones químicas.

El equivalente-gramo de un elemento o compuesto se determinará de acuerdo con las características propias de dicha sustancia en sus combinaciones.

- 1) Equivalente – gramo de un elemento:  $Eq - g \text{ elemento} = \frac{\text{peso atómico}}{\text{número de oxidación}}$
- 2) Equivalente – gramo de un ácido:  $Eq - g \text{ ácido} = \frac{\text{peso molecular}}{\text{número de } H^+}$
- 3) Equivalente – gramo de una base:  $Eq - g \text{ base} = \frac{\text{peso molecular}}{\text{número de } OH^-}$
- 4) Equivalente – gramo de una sal:  $Eq - g \text{ base} = \frac{\text{peso molecular}}{\text{carga de anión o catión}}$

#### 4. Fracción Molar (X)

La fracción molar es una forma de expresar la concentración de las disoluciones relacionando los moles de soluto por los moles de la disolución. La fracción molar es adimensional.

Expresión Analítica:

$$X = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de soluto} + \text{moles de disolvente}} = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{moles de disolución}}$$

Por tanto:

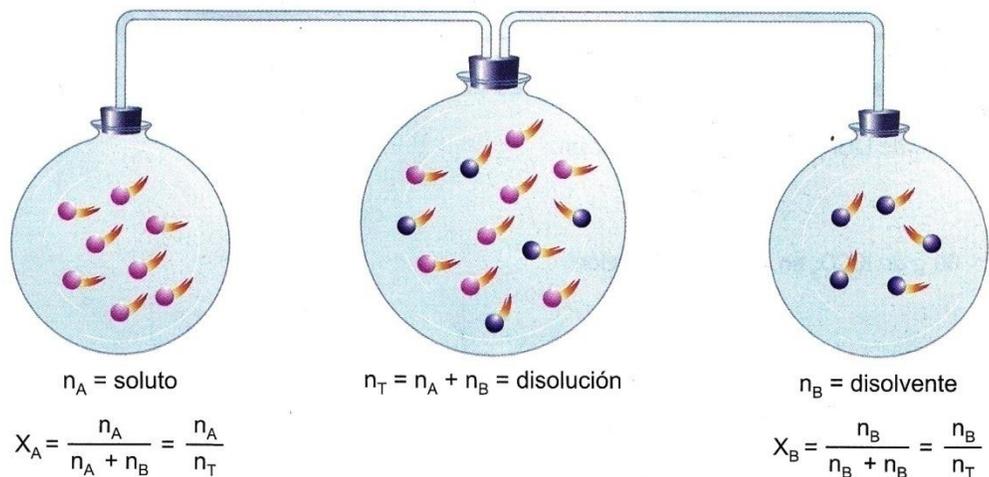
$$X_A = \frac{n_A}{n_A \text{ soluto} + n_B \text{ disolvente}} = \frac{n_A}{n_T}$$

Donde:

n=número de moles

X= fracción molar

#### Preparación de una disolución.



### 3.5 ÁCIDOS Y BASES

En muchas ocasiones hemos confrontado innumerables experiencias que han permitido de una u otra forma reflexionar con certidumbre el significado de las cosas que impactan en nuestra vida y que, además, son tan evidentes que forman parte del acervo cultural de cada individuo, lo que permite desarrollar un pensamiento crítico capaz de identificar los fenómenos por su causa-efecto.

En el universo de las disoluciones encontramos con frecuencia ejemplos que, por su versatilidad, debemos relacionarlos con su naturaleza y comportamiento fisicoquímico al interaccionar el soluto con un solvente determinado, sin descartar lo relevante que resulta el formar mezclas homogéneas que beneficien de manera sustentable la calidad de vida del hombre, desde la ingesta de una deliciosa malteada de chocolate, hasta la compleja suspensión estomacal que alivia los malestares ocasionados por los excesos alimenticios, reconfortando de manera milagrosa el equilibrio en el estómago.

Precisamente es en este punto donde tenemos la oportunidad de conocer y aprender química a través de las evidencias prácticas.

Cuando por curiosidad nos adentramos en todo aquello que se relaciona con nuestra vida, es cuando realizamos grandes hallazgos que tienen un significado real. En el mundo contemporáneo del trabajo intenso y extralimitado se han generado problemas de salud, desde un simple dolor encefálico hasta la aguda o crónica gastritis referenciada por los estados anímicos y de estrés.

En este caso específico, podemos determinar con claridad el impacto de la naturaleza de las sustancias químicas presentes en los productos farmacéuticos reconocidos por la divulgación publicitaria por los medios de comunicación masiva, y, lo más interesante, que son resultado de su reacción con otras sustancias para producir un estado de bienestar en el organismo del hombre.

## Descripción evidencial de los ácidos y bases

A partir del caso anterior comentaremos sobre las características que determinan el comportamiento químico de los ácidos y bases y su peculiar reacción de neutralización que se manifiesta cuando ambas reaccionan en conjunto.

Estudiosos del tema plantean una forma sencilla de identificar este tipo de compuestos a partir de la experiencia operacional diaria. Por ejemplo, podemos retomar de la memoria los recuerdos al beber una limonada y la sensación de salivación que produce al proyectar en la mente el «sabor agrio» que lo caracteriza. Asimismo, la «untuosidad» de la potasa (nombre común del hidróxido de potasio) cuando las amas de casa lo aplican para (<arrancar» grasas de las parrillas de la estufa.

Podemos concluir con algunas definiciones operacionales de las sustancias ácidas y básicas.

Una **sustancia ácida** es aquella que tiene las siguientes características:

- Posee un sabor agrio.
- Reacciona con los metales activos produciendo hidrógeno molecular.
- En disolución acuosa se disocia produciendo iones  $H^+$
- Colorea al papel tornasol de azul a rojo.
- En contacto con la fenolftaleína ésta es incolora.
- Al reaccionar con las bases se neutraliza y forma sales.

Con respecto a las **sustancias básicas** se caracterizan por:

- Tener un sabor amargo.
- Ser untuosas al tacto.
- Corrosivas.
- En disolución acuosa se disocian en iones hidroxilos ( $OH^-$ ).
- Colorean una solución de fenolftaleína a rojo.
- Cambian de color el papel tornasol de rojo a azul.

## Teorías fundamentales en las disoluciones ácido-base

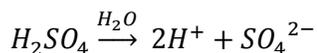
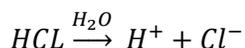
Ahora debemos justificar estas propiedades recordando algunas teorías que fundamentan los comportamientos característicos de los ácidos y bases para sus aplicaciones en el contexto de la vida del hombre, esto es, en su conversión material para la elaboración de productos que promuevan bienestar y seguridad.

### Teoría ácido-base de Svante Arrhenius

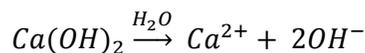
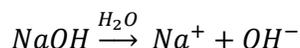
Una de las sustancias más importantes en la naturaleza es el agua, por las propiedades que al inicio de este bloque se mencionan y, además, que a partir de ésta, Svante Arrhenius (1859–1927) estableció, en 1887, el comportamiento de los ácidos y la presencia del hidrógeno, proponiendo una teoría que establecía que los ácidos son sustancias que se disocian en el agua para producir iones hidrógeno.

La experiencia también demostró que las bases en medio acuoso también se disocian para producir iones hidróxidos u oxhidrilos. Ambos planteamientos pueden representarse gráficamente con los siguientes ejemplos:

### Ácidos Arrhenius



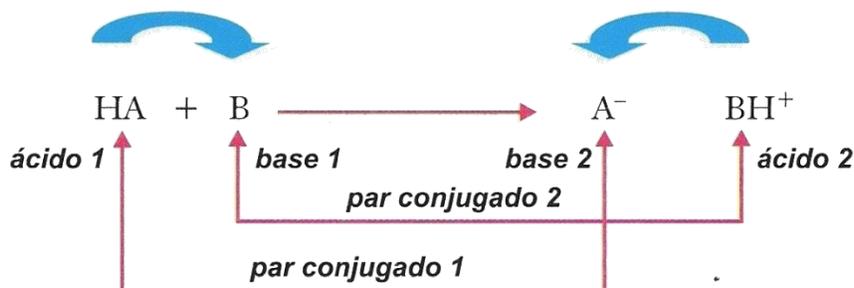
### Bases Arrhenius



## Teoría ácido-base de Brønsted-Lowry

En 1923, el químico danés Johannes Brønsted y el químico inglés Thomas Lowry propusieron cada uno, de manera independiente, una teoría más generalizada sobre ácidos y bases. Ambos concluyeron que las sustancias ácidas eran capaces de aportar o ceder protones (H+) y las sustancias básicas, aquellas que aceptaban un protón.

En esta teoría las reacciones químicas en las que intervienen los ácidos y bases de Brønsted-Lowry se denominan **reacciones por transferencia de protones**, dando lugar a una serie de sustancias conjugadas de relevante consideración en el estudio del equilibrio iónico de las mismas.



A partir de la ecuación ácido-base anterior, podemos observar y determinar dos pares conjugados, es decir, un par de sustancias químicas que se forman por la diferencia de un protón, obteniendo:

Par conjugado 1: HA / A<sup>-</sup>      Par conjugado 2: B / BH<sup>+</sup>

## Sistemas ácido-base: fuertes y débiles

Los ácidos y bases tienen distintos grados de disociación, y por esa razón pueden clasificarse como fuertes y débiles.

Los ácidos y bases fuertes se disocian en su totalidad en medio acuoso; sin embargo, en los ácidos y bases débiles su disociación es infinitamente pequeña en este tipo de medio, y por consiguiente poseen propiedades particulares que les permiten ser usados en

distintas aplicaciones. A continuación mostramos algunas sustancias ácidas y básicas de uso cotidiano para tener una referencia del impacto en la vida del hombre **Tabla 3.8**.

Ácido débil	Fórmulas	Se encuentra en	Ácido fuerte	Fórmula	Se encuentra en
Ácido acético	CH <sub>3</sub> COOH	Vinagre	Acido Clorhídrico	HCl	Jugos gástricos
Ácido acetisalicílico	C <sub>9</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub>	Aspirina	Ácido sulfúrico	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Pilas, acumuladores
Ácido ascórbico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>6</sub>	Vitamina C			
Ácido cítrico	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	Jugo de limón, naranja, toronja			
Base Débil	Fórmulas	Se encuentra en	Base fuerte	Fórmula	Se encuentra en
Amoniaco	NH <sub>3</sub>	Limpiadores, desinfectantes	Hidróxido de potasio	KOH	Jabón suave
Hidróxido de calcio	Ca(OH) <sub>2</sub>	Cal apagada	Hidróxido de sodio	NaOH	Limpiadores de tuberías y hornos
Hidróxido de magnesio	Mg(OH) <sub>2</sub>	Leche de magnesia			

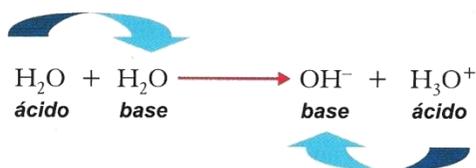
**Tabla 3.8** Ácidos y bases de uso cotidiano en la vida de los seres humanos.

## Autoprotólisis del agua

El agua, por su propiedad bivalente de acuerdo con la teoría de Brønsted-Lowry, puede comportarse como ácido (cede protones) y como base (acepta protones), propiciando un comportamiento químico esencial en la explicación de pares conjugados característicos para identificar de manera analítica una de las constantes en los sistemas ácido-base de equilibrio iónico,  $K_w$ , aplicable a una gran diversidad de problemas referentes a las concentraciones de iones H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup> y pH.

A las sustancias con comportamiento similar al del agua se les denomina anfóteras, anfipróticas o anfólicas.

Esta propiedad permite al agua una reacción química a nivel iónico fundamental para la explicación de los conceptos de acidez y basicidad que determinaremos analíticamente desde los aspectos cualitativo y cuantitativo en la resolución de problemas. El agua puede autoionizarse de acuerdo con las teorías de Brønsted-Lowry de la siguiente forma:



La reacción por transferencia de protones (H<sup>+</sup>) anterior produce dos iones importantes que determinarán las propiedades químicas esenciales para la identificación y valoración de los sistemas ácido-base; uno de ellos es el ion hidróxido u oxhidrilo (OH<sup>-</sup>), y el otro es el ion hidrógeno o hidronio (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>).

A partir de la ecuación anterior puede determinarse la constante del producto iónico del agua ( $K_w$ ), la cual determinará el equilibrio iónico ácido-base para la formulación de la

escala de pH. El producto iónico del agua se interpreta matemáticamente de la siguiente forma:

$$K_w = [OH^-][H_3O^+]$$

Una vez determinada la constante de equilibrio iónico y conociendo los valores experimentales del agua pura a 25 °C con una concentración de 55.55 M, se determina el grado de disociación del agua pura en estas condiciones estándares y que es equivalente a  $1 \times 10^{-14}$  concluyendo con la expresión:

$$K_w = [OH^-][H_3O^+] = 1 \times 10^{-14}$$

Analíticamente, a partir de esta constante establecemos que el agua posee una concentración molar de ion hidróxido igual a  $1 \times 10^{-7}$  y de manera análoga la concentración molar del hidronio igual a  $1 \times 10^{-7}$ , es decir:

$$[OH^-] = [H_3O^+] = 1 \times 10^{-7}$$

Como podrás observar, el grado de disociación del agua es muy pequeño, por lo que debemos establecer una escala numérica con números reales para interpretar de manera significativa el grado de acidez o basicidad de las soluciones en cuestión.

### Potencial hidrógeno (pH)

El potencial hidrógeno (pH) es una escala numérica relativa que nos indica los rangos o intervalos de validez, en la cual podemos determinar la acidez o basicidad (alcalinidad) de las soluciones; dicha escala va de 0 a 14. Considerando que el rango de 0 a 7 *se referirá a una solución ácida, el límite exacto 7 será una solución neutra y de 7 a 14 una solución básica o alcalina.*

El potencial hidrógeno se expresa matemáticamente a través de formas logarítmicas para un mayor significado, tomando como base a los logaritmos decimales, planteando la siguiente formulación:

$$pH = -\log[H_3O^+] \text{ o su expresión equivalente } pH = -\log[H^+]$$

Es decir, el potencial hidrógeno (pH) es el logaritmo decimal negativo de la concentración de los iones hidronio o hidrógeno.

Al relacionar el grado de acidez con la basicidad de manera análoga, se tiene un modelo semejante de cálculo:

$$pOH = -\log[OH^-]$$

Al integrar en una sola expresión ambas formulaciones obtenemos una alternativa más de análisis cuantitativo:

$$pH + pOH = 14$$

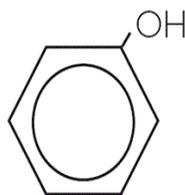
Más que el aspecto cuantitativo de un cálculo frío del pH en tu libreta, hoy más que nunca nos interesa que comprendas el impacto de tus saberes sobre las cuestiones cotidianas de tu vida y cómo ésta se correlaciona con las grandes problemáticas del cuidado del medio ambiente. En el Esquema 3.1 observarás algo de lo mucho que en la vida moderna acontece, que debes y debemos considerar para asumir una conciencia de prevención y evitar un impacto negativo en el medio ambiente que nos circunda.



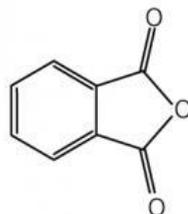
Esquema 3.1 Escala de pH en sustancias comunes y su impacto en el medio acuático.

Existen en el mundo de la química sustancias que detectan los cambios de acidez y basicidad con tan sólo un cambio de coloración (viraje). Estas sustancias se llaman indicadores ácido-base. Dos ejemplos clásicos de este tipo de sustancias químicas son las que existen en la mayoría de laboratorios escolares. Nos referimos a la fenolftaleína y al papel tornasol.

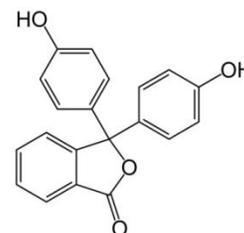
La fenolftaleína es un compuesto químico producto de la reacción entre fenol ( $C_6H_5OH$ ) y anhídrido ftálico ( $C_8H_4O_3$ ) en presencia de ácido sulfúrico.



Fenol



Anhídrido ftálico



Fenolftaleína

En análisis químico se utiliza como indicador ácido-base [Figura 3.10], presentando un viraje o cambio de coloración como se indica a continuación:

- En un **medio ácido** la fenolftaleína es incolora.
- En un **medio básico** (alcalino) la fenolftaleína es rosa intenso.

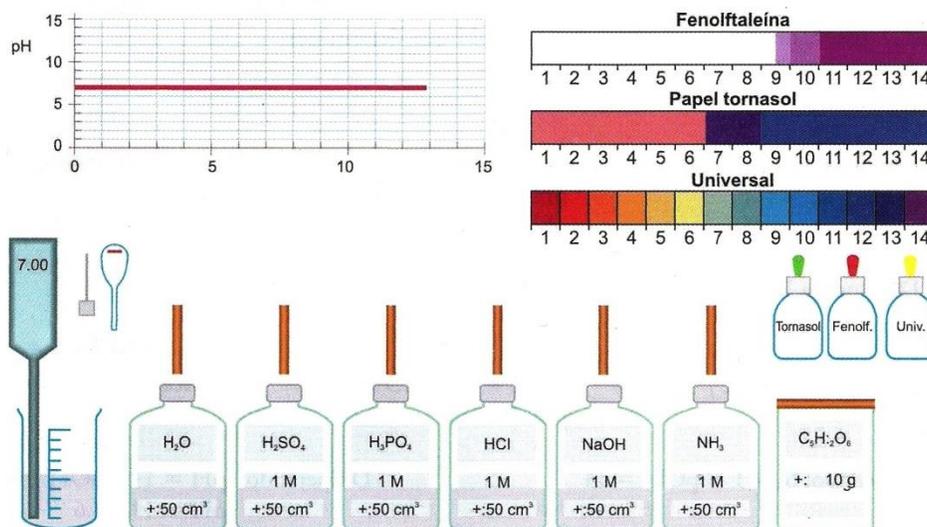


Figura 3.10 La fenolftaleína contra otros indicadores ácido-base comunes en el laboratorio escolar.

El **papel tornasol** o **papel pH** es utilizado para medir las concentraciones de iones hidrógeno contenidos en una sustancia o disolución [Figura 3.11], y se relaciona directamente con la escala de pH.

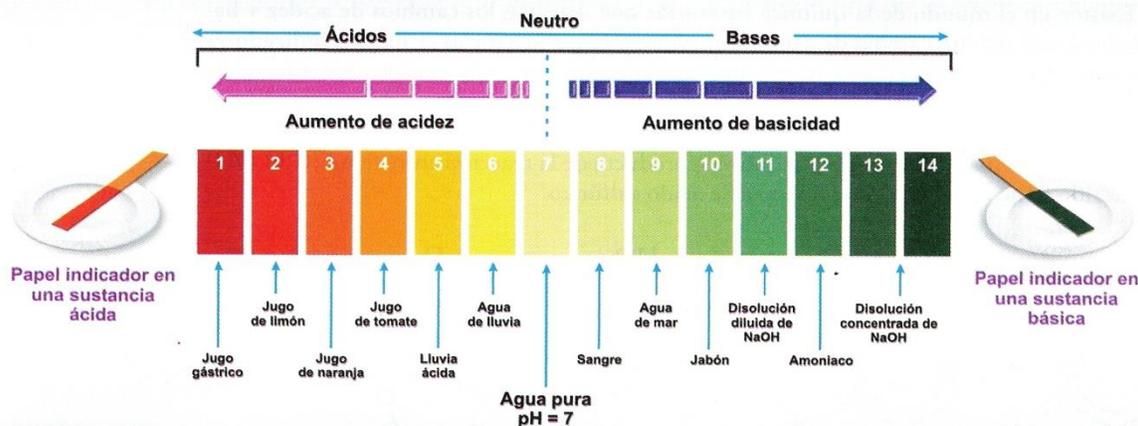


Figura 3.11 Variaciones del pH relacionadas con el papel tornasol.

## Cálculo de pH en disoluciones acuosas

Es determinante en las experiencias escolares tener una noción cuantitativa de los fenómenos que acontecen en nuestro entorno para desarrollar un sentido orientado hacia las valoraciones y proporciones, desarrollando las competencias formativas propias de la química. Por esta razón, a continuación te presentamos algunos ejemplos que fortalecerán tu conocimiento sobre la acidez y basicidad de las disoluciones que día a día forman parte de nuestra vida cotidiana.

A partir de los datos que se indican calcula el pH de las siguientes soluciones acuosas, así como el tipo de disolución de acuerdo con el pH que determines.

- 1) **Disolución A**  $[H^+] = 1 \times 10^{-5} \text{ M}$

Fórmula $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$	Sustitución $\text{pH} = -\log [1 \times 10^{-5}]$ $\text{pH} = 5$	Tipo de disolución Ácida.
<b>2) Disolución B <math>[\text{OH}^-] = 2.55 \times 10^{-3} \text{M}</math></b>		
Fórmula $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$	Sustitución $\text{pOH} = -\log [2.55 \times 10^{-3}]$ $\text{pOH} = 2.6$	Tipo de disolución Básica.
Aplicando: si $\text{pH} + \text{pOH} = 14$	Despejando:	$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$ $\text{pH} = 14 - 2.6$ $\text{pH} = 11.4$
<b>3) Disolución C si <math>[\text{OH}^-] = 300 \text{ Kw}</math></b>		
Fórmula $\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$	Sustitución $\text{pOH} = -\log [300 \text{ Kw}]$ $\text{pOH} = -\log [300(1 \times 10^{-14})]$ $\text{pOH} = 11.52$	Tipo de disolución Ácida.
Aplicando: si $\text{pH} + \text{pOH} = 14$	Despejando:	$\text{pH} = 14 - \text{pOH}$ $\text{pH} = 14 - 11.52$ $\text{pH} = 2.48$

### Neutralización-ácido-base

Debemos considerar un aspecto muy importante de los ácidos y bases desde el punto de vista disciplinario de la química hasta su aplicación en beneficio del hombre; en este sentido, debemos conocer las transformaciones químicas que se producen al interaccionar las sustancias ácidas con las sustancias básicas, que a partir de las teorías expuestas anteriormente, principalmente la de Brönsted-Lowry, justifica conceptualmente un tipo especial de reacción química esencial en el análisis químico, denominada reacción de neutralización [Figura 3.12]

Este tipo de reacción se identifica por la transferencia del o los protones ( $\text{H}^+$ ) de los ácidos Bronsted-Lowry hacia las bases

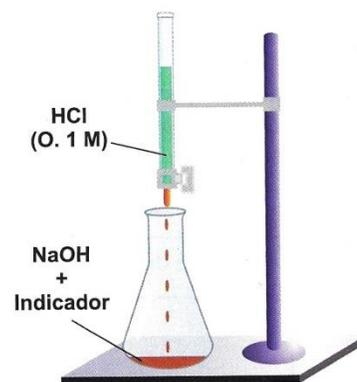
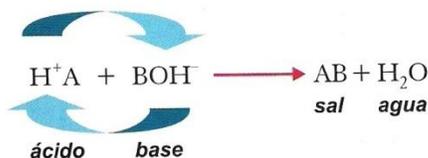
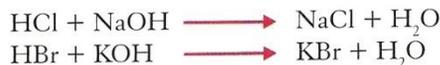


Figura 3.12 La neutralización en el proceso de valoración ácido-base.



Por ejemplo



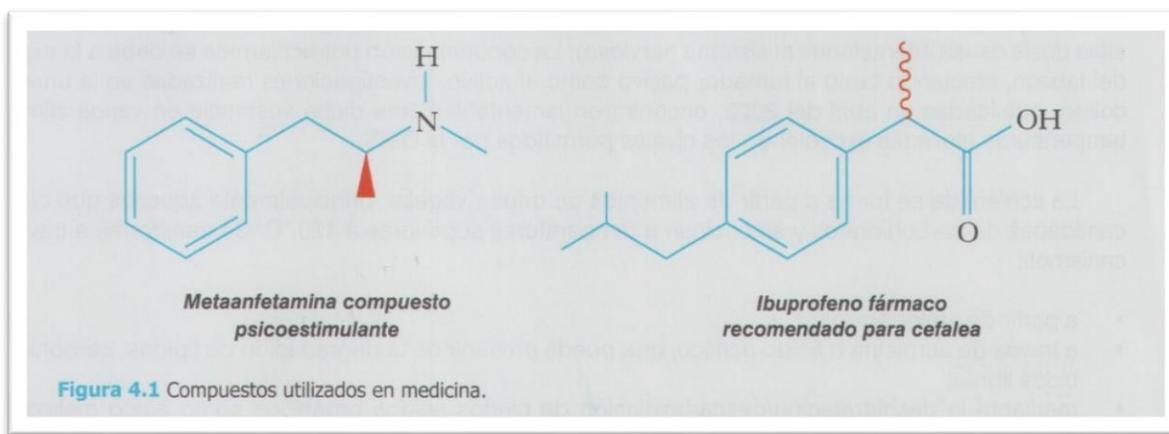


# BLOQUE 4

## VALORAS LA IMPORTANCIA DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO EN TU VIDA DIARIA Y ENTORNO

### 4.1 CONFIGURACIÓN ELECTRÓNICA Y GEOMETRÍA MOLECULAR DEL CARBONO

Observa detenidamente a tu alrededor y te darás cuenta que estamos rodeados de «plásticos», textiles (polímeros) y un sinnúmero de compuestos de interés para realizar diversas actividades como los compuestos derivados del petróleo (diésel, gasolina, turbosina, etc.). También compuestos que participan con los seres vivos como clorofila, proteínas, vitaminas, aminoácidos, hormonas o fármacos. Todas estas sustancias están constituidas químicamente por C, H y algunos heteroátomos como N, S, O y P [Figura 4.1]

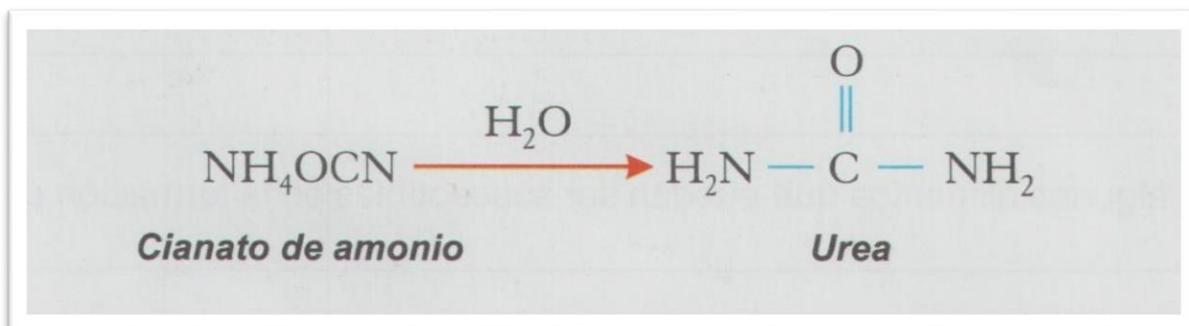


Como bien sabes, la química se encarga de estudiar la composición, estructura y propiedades de la materia. La palabra orgánica se refiere a organismos vivos. Integrando ambas palabras tendremos la siguiente definición:

**Química orgánica.** Especialidad de la química que estudia las propiedades y transformaciones de los compuestos que presentan carbono e hidrogeno además de sus uniones con heteroátomos (N, O, S y P).

Desde el inicio de la química, los científicos de 1770 describían el término orgánico exclusivamente a todos los compuestos derivados de organismos vivos y el término inorgánico solo se aplicaba a sustancias minerales -teoría vitalista-. Sin embargo, en 1828, Friedrich Wöhler realizó experimentos y descubrió que al

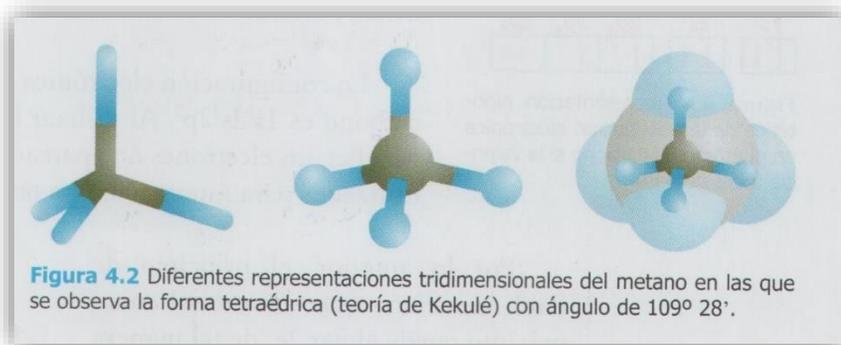
calentar el cianato de amonio en agua (compuesto inorgánico) se obtenía la urea (compuesto orgánico), sustancia que de forma natural excretan los animales y el hombre. Observa la siguiente ecuación química:



Lo anterior, provocó la anulación de la teoría vitalista, porque se comprobó que los compuestos orgánicos no solo se obtienen de seres vivos.

Pues bien, la presencia de compuestos orgánicos en la vida es innumerable y pueden ser compuestos sencillos como azúcares, aminoácidos y grasas hasta compuestos más complejos como las enzimas que catalizan las reacciones químicas vitales y las moléculas gigantes de ADN que llevan información genética. Forman parte de los alimentos tanto naturales como artificiales que ingerimos; la ropa, accesorios y zapatos que utilizamos; el mundo de los plásticos y polímeros que están en cada rincón de nuestros lugares; los medicamentos, drogas, las toxinas de bacterias, hongos, etc., además de los compuestos procesados sintéticamente como colorantes, plaguicidas, jabones, etc. Muchos de los compuestos que diariamente utilizamos en nuestra vida son compuestos orgánicos.

La abundancia de los compuestos orgánicos se debe a la capacidad que presenta el átomo para formar con otros elementos compuestos sencillos y complejos. Por ejemplo, desde el metano, que tiene un solo carbono, hasta las moléculas muy complejas como el ADN (ácido desoxirribonucleico) que es una estructura compuesta por repeticiones de aminoácidos que forman las proteínas.



Una hipótesis que se planteó fue: si en verdad los compuestos orgánicos pueden presentar estructuras complejas, entonces presentarían formas geométricas. Esta inquietud surgió en 1861 con el científico Friedrich August Kekulé, que realizó estudios con la molécula del metano, concluyendo que el átomo de carbono

presentaba orbitales, es decir, tenía electrones con movimientos en el espacio dirigidos de tal manera que se forma una figura tetraédrica. [Figura 4.2] Esos electrones del carbono podían unirse con los electrones de los átomos de hidrógeno o de otros carbonos y reordenarse hasta adquirir una forma geométrica.

A partir de la hipótesis que desarrolló Kekulé, se fueron estableciendo las primeras formas estructurales de los compuestos orgánicos que proporcionan los fundamentos para describir y predecir el comportamiento de todos ellos.

Así como las estructuras geométricas tienen sus ángulos en los vértices, también al unirse los átomos de todas las moléculas forman ciertos ángulos y éstos son conocidos como **ángulos de enlace**. Esto se descubrió mediante los estudios que se realizaron con la difracción electrónica y de esta manera se concluyó que el ángulo que existe entre el carbono e hidrógeno en el metano es de  $109^{\circ} 28'$ ; además, éste puede presentar cambios debido al tipo de electro negatividad o tamaño de algunos átomos o grupos de átomos que puedan existir en alguna molécula cercana al enlace o también al tipo de enlace que esté presente (sencillo, doble o triple).

Sabemos que la palabra longitud es la distancia entre dos puntos, por lo que al ser utilizada esta definición en química podríamos decir que la **longitud de enlace** es la distancia que existe entre los núcleos de los átomos enlazados. Las longitudes de enlace presentan variaciones que se verán afectadas por el tipo de enlace covalente que lo forma, y se hacen más cortas cuando aumenta la multiplicidad del enlace (enlaces dobles o triples), es decir, alquenos y alquinos.

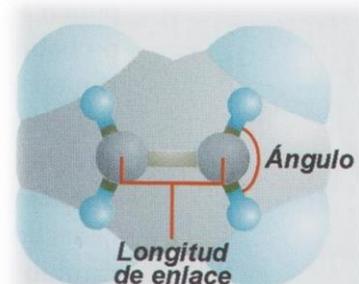


Figura 4.3 Representación de la longitud de enlace en una molécula orgánica.

## Configuración electrónica y geometría molecular del carbono

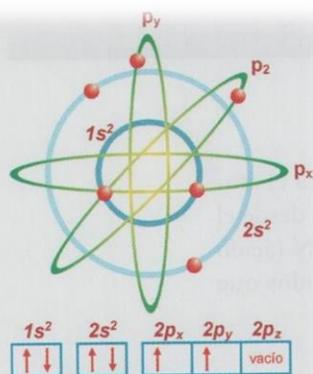


Figura 4.4 Representación hipotética de la distribución electrónica en el átomo de carbono si la valencia fuera de dos.

La distribución de electrones del carbono lo podemos explicar como sigue: imagina que el núcleo atómico del carbono es el planeta Tierra y los satélites artificiales que se encuentran girando cerca de ella son los electrones. Pues bien, cada satélite (electrón) se encuentra situado en una órbita (espacio) diferente (s, p, d, f, postulado de Bohr); el movimiento de los electrones en los orbitales proporciona estabilidad a la molécula, permitiendo la formación de enlaces con otros átomos para formar nuevos compuestos. [Figura 4.4]

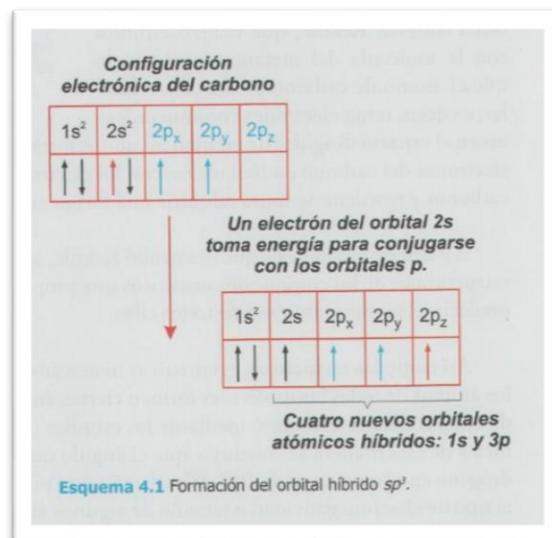
El elemento carbono se encuentra ubicado en el grupo IV A de la Tabla Periódica. Lewis describe que este elemento puede compartir 4 electrones de valencia, formando así largas cadenas y anillos.

La configuración electrónica del átomo de carbono es  $1s^2 2s^2 2p^2$ . Al utilizar la distribución de electrones en el diagrama de Moeller, los electrones no apareados «libres» son electrones de valencia que serán utilizados para interactuar con otros átomos. [Esquema 4.1]

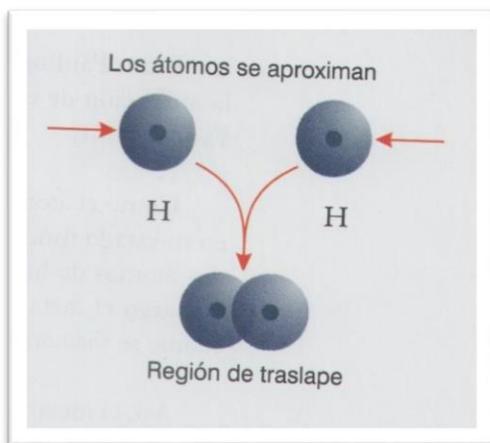
Por lo anterior, el principio de Pauli menciona que «un orbital como máximo puede alojar  $2e^-$  de tal manera que sus espines estén apareados».

Para comprender la forma geométrica de las moléculas es necesario conocer la **teoría del enlace de valencia**.

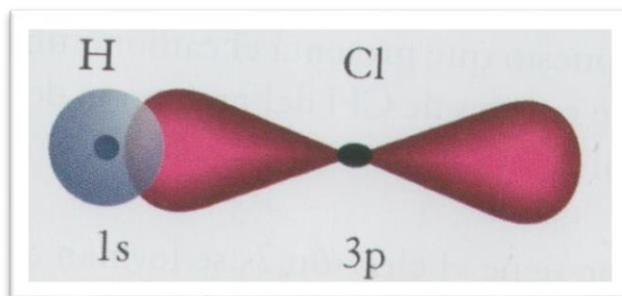
Para que se lleve a cabo un enlace es necesario que los electrones de valencia se encuentren localizados en un determinado orbital de un átomo. La formación del enlace se genera por sobreponer los 2 orbitales que suponen sus respectivas zonas de mayor probabilidad de encontrar electrones (hipótesis de Schrödinger). El enlace se forma al compartir los dos electrones una misma región del espacio en la que existe una alta probabilidad de encontrar los respectivos electrones. Para ello es necesario que tengan espines contrarios. Cuando se generan pierden la identidad inicial que les otorga el hecho de pertenecer a un solo átomo, por lo que ahora se encuentran sometidos a un intercambio de electrones.



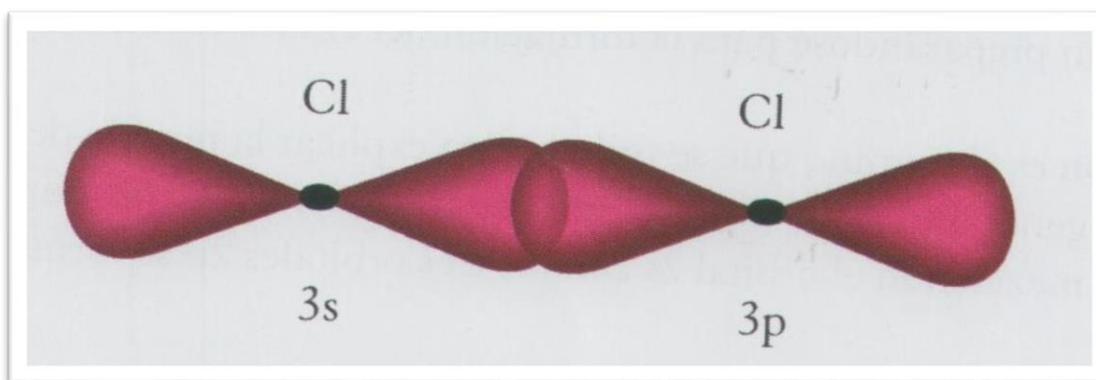
La formación de la molécula de hidrógeno ( $H_2$ ) por solapamiento de los orbitales  $1s$  de cada átomo da como resultado la formación del enlace H-H, ya que existió la sobreposición de ambos electrones encontrándose en la zona de mayor probabilidad de ubicación de ambos electrones (s-s).



La molécula del HCl se forma mediante la sobreposición de un orbital  $1s$  del hidrógeno y el orbital  $3p$  que aloja al único electrón desapareado del cloro, llevándose a cabo el solapamiento s-p.

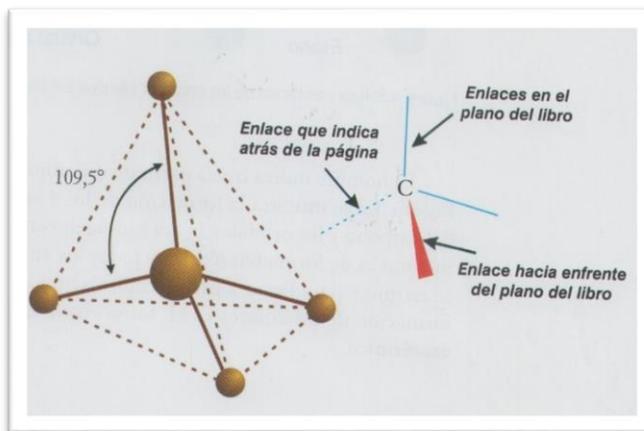


La formación de la sobreposición p-p se puede observar con la formación de la molécula de cloro por el traslape de los dos orbitales 3p de cada átomo de cloro.



Ambos casos se les conoce como **enlace sigma**, debido a la simetría de los orbitales que se solapan respecto del eje intermolecular de enlace, es decir, las funciones de onda tienen el mismo valor en todos los puntos del espacio situado a la misma distancia del eje.

Como bien se sabe, todos los objetos que se encuentran a nuestro alrededor presentan formas geométricas. En tus clases de Matemáticas 2 has analizado algunas figuras como triángulos, polígonos, etc. Algunos investigadores han comprobado que los compuestos orgánicos llegan a formar estructuras geométricas, tal es el caso de los científicos August Kekulé y Archid Couper, quienes en 1858, en investigaciones separadas, propusieron que el carbono es tetravalente, esto es, forma cuatro enlaces al unirse a otros elementos con la finalidad de conformar compuestos estables; sin embargo, en 1865 Kekulé dedujo que las cadenas de carbono se pueden «doblar» para formar anillos.



Posteriormente, los avances en

química se fueron dando, y en 1874 los químicos Jacobus Henricus van't Hoff y Joseph Le Bel agregaron que el carbono tenía direcciones espaciales muy orientadas, pero las investigaciones de van't Hoff fueron más avanzadas: propuso que los cuatro átomos a los que está unido el carbono se ubican en los vértices de un tetraedro regular, con el carbono en el centro.

Linus Pauling en 1930 describió la hibridación de orbitales. Los resultados obtenidos con la aplicación de este modelo justifican la estructura del compuesto del carbono. Observa el **Esquema 4.1**

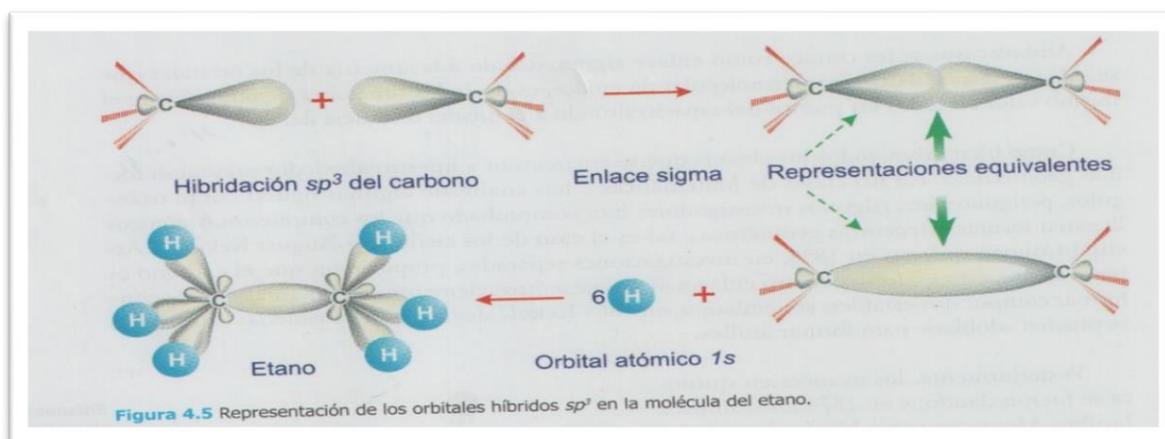
Como el átomo de carbono tiene dos electrones en el orbital p (uno en X y el otro en Y) en su estado fundamental, esto nos indicaría que únicamente podría formar dos enlaces con dos átomos de hidrógeno, a pesar de que sí se conoce la especie  $\text{CH}_2$ , pero es inestable. Sin embargo el metano es una molécula muy estable por las cuatro uniones que presenta, pero ¿cómo se forman los otros dos enlaces?

Así, el metano es un compuesto que presenta el carbono unido a cuatro átomos de hidrógeno, y para explicar los cuatro enlaces de CH del metano se descubrió la excitación energética: un electrón del orbital 2s al  $2p_z$  **Esquema 4.1**

Por el desplazamiento que tiene el electrón 2s se forman cuatro electrones desapareados en el átomo de carbono; por lo tanto forman cuatro enlaces carbono-hidrógeno. La teoría del enlace valencia TEV utiliza hipotéticamente el concepto de **orbitales híbridos**; indica que son orbitales atómicos que se obtienen cuando dos o más orbitales no equivalentes del mismo átomo se combinan preparándose para la formación del enlace covalente.

La **hibridación** es el término que se utiliza para explicar la mezcla de los orbitales atómicos en un átomo, generalmente el átomo central para generar un conjunto de orbitales híbridos equivalentes; mezclando el orbital 2s con los tres orbitales 2p se forma el  $sp^3$ .

El nombre indica que a partir de un orbital s y tres orbitales p se forma el orbital



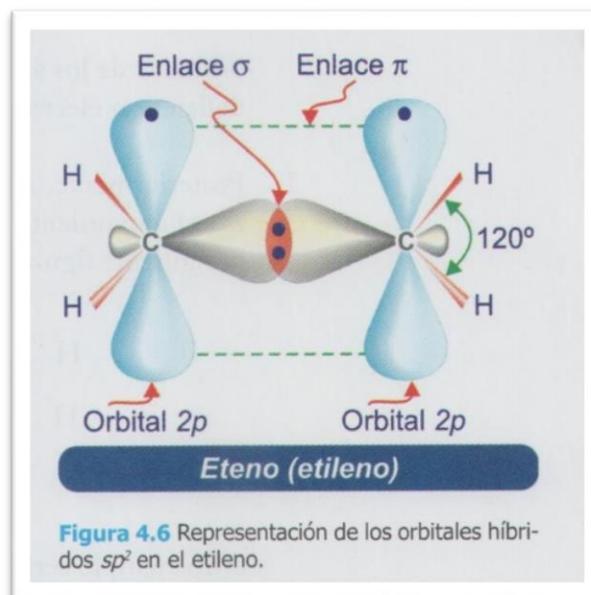
$sp^3$ . Se muestra la formación de los 4 enlaces covalentes entre los orbitales híbridos  $sp^3$  del carbono y los orbitales  $1s$  del hidrógeno en el metano, formando

enlaces sigma ( $\sigma$ ). Así, el metano es de forma tetraédrica y todos los ángulos del H-C-H son de  $109.5^\circ$ . La energía que se requiere para llevar a cabo la hibridación se recompensa por la energía que se libera en la formación de los enlaces C-H; tomando en cuenta que los enlaces de formación son un proceso exotérmico.

## Hibridación $sp^2$

Además de la hibridación  $sp^3$ , el carbono forma la hibridación  $sp^2$  llamada trigonal, donde el orbital  $2s$  se combina con dos orbitales  $p$  para formar tres nuevos orbitales híbridos  $sp^2$ . Éstos tienen ejes de simetría en un solo plano, orientados de tal manera que forman ángulos de  $120^\circ$ . Los tres orbitales formados pueden acoplarse con los orbitales de otros átomos y formar tres orbitales moleculares sigma ( $\sigma$ ). El orbital atómico  $p$  restante se combina con otro orbital  $p$  del carbono vecino por arriba y abajo del plano del enlace sigma para formar el enlace pi ( $\pi$ ).

La tercera hibridación que presenta el átomo de carbono es digonal; se presenta cuando el orbital atómico  $2s$  se combina con un orbital  $2p$  para formar el orbital híbrido  $sp$ , dejando libres dos orbitales  $p$ ; éstos se combinan con otros dos orbitales  $p$  del átomo de carbono vecino para dar origen a dos orbitales covalentes pi ( $\pi$ ). La molécula del acetileno presenta este tipo de hibridación



Para resumir el estado de la hibridación, se tiene lo siguiente:

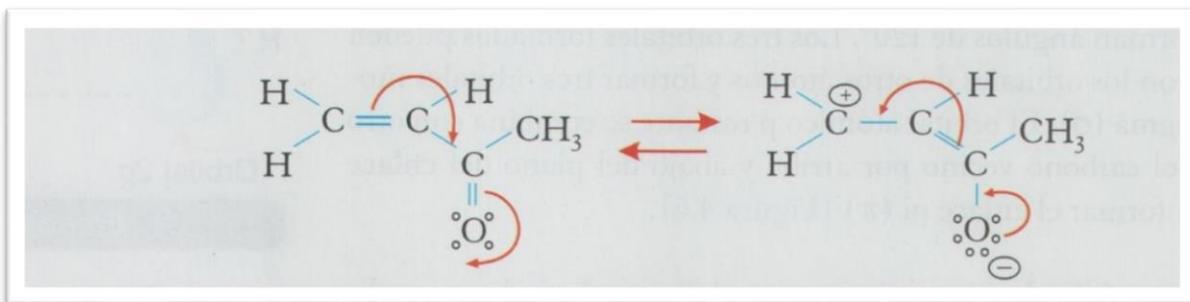
- Es un modelo teórico que se utiliza para explicar el enlace covalente.
- La hibridación es la mezcla de por lo menos dos orbitales atómicos no equivalentes, por ejemplo orbitales  $s$  y  $p$ ; un orbital híbrido no es un orbital atómico puro debido a que presenta forma distinta.
- El número de orbitales híbridos generados es igual al número de orbitales atómicos puros que participan en el proceso de hibridación.

## Conjugación electrónica y resonancia

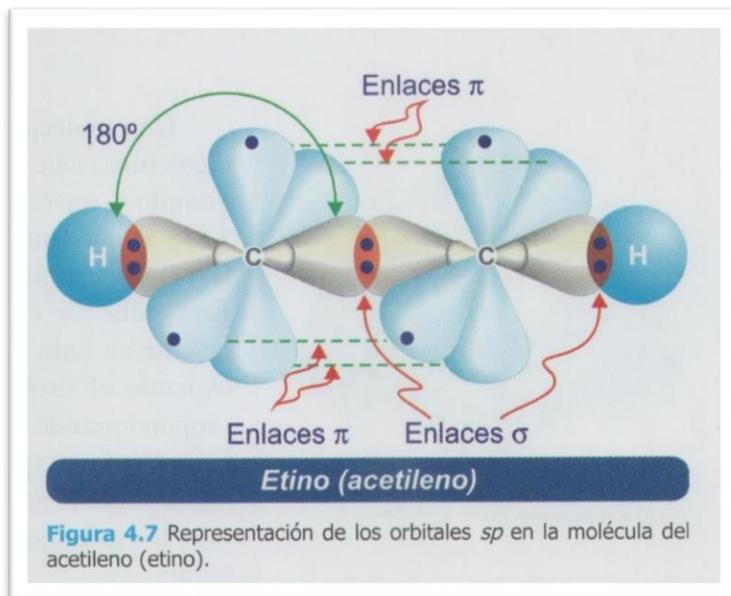
En algunas moléculas orgánicas no pueden ser representadas de una sola forma (Lewis), ya que existe el movimiento de los electrones en ella, dando origen a moléculas conocidas como **moléculas híbridas resonantes**. Pero no son compuestos diferentes, sino sólo formas distintas de representar el mismo compuesto. La molécula real se conoce como **híbrido de resonancia** de sus formas resonantes.

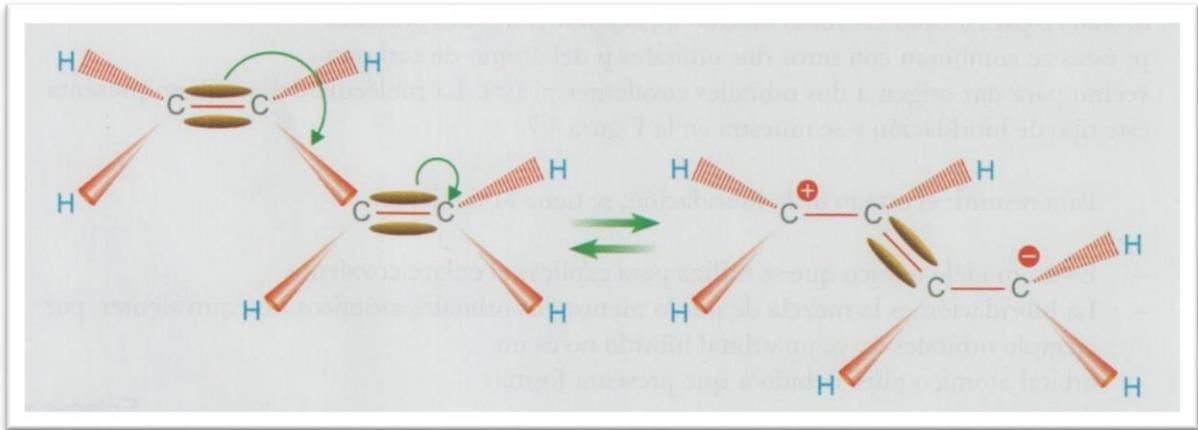
El movimiento de electrones en los orbitales ( $\pi$ ) a través de la cadena se lleva a cabo por el desplazamiento de la nube electrónica hacia un extremo de la cadena y el regreso nuevamente a su estado normal. A este desplazamiento se le conoce como **conjugación electrónica**.

1. Cuando los electrones del orbital  $\pi$  del enlace carbono-oxígeno se desplazan hacia el átomo más electronegativo (oxígeno), producen una deficiencia electrónica en el átomo de carbono que está unido al oxígeno. Sin embargo, cuando esto sucede, los electrones del orbital  $\pi$  de los átomos de carbono vecino con el doble enlace se desplazan a proteger esa deficiencia electrónica, y así queda desprotegido el último átomo de carbono.
2. Posteriormente, al regresar la nube de electrones a su estado normal, se vuelve a estabilizar el movimiento electrónico a través de una cadena de conjunto de electrones. Observa la siguiente figura:

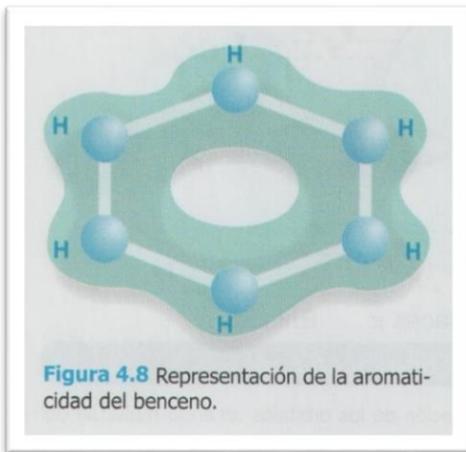


Otro ejemplo sería el caso de la molécula del **1,3-butadieno**.





Una molécula muy representativa para este fenómeno es el benceno, estructura cíclica que presenta una nube de electrones que se encuentran girando a través de todos los carbonos que forman dicho anillo **[Figura 4.8]**; a este movimiento se le conoce como **resonancia**. Esta nube de electrones repercute en todo el anillo protegiendo el sistema cíclico y proporcionando estabilidad a la molécula, ya que este fenómeno es el movimiento continuo de electrones a través del anillo.



El benceno es un anillo formado por seis átomos de carbono con hibridación  $sp^2$  unidos cada uno a un átomo de hidrógeno; los enlaces C-C presentan la misma longitud y todos los ángulos de enlace son de  $120^\circ$ . Su representación se debe a que los electrones

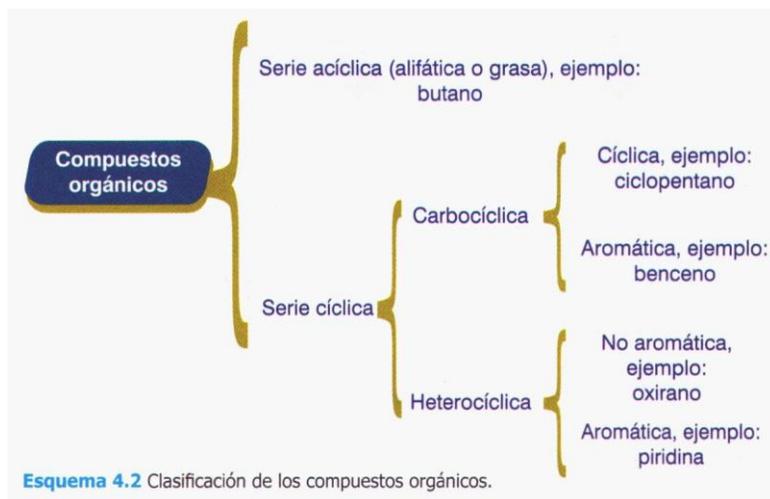
$\pi$  están deslocalizados; las longitudes de enlaces entre C-C son más cortas que un enlace sencillo pero más largo que un doble enlace. **[Figura 4.9]**

## 4.2 CADENA



## TIPOS DE E ISOMERÍA

Los compuestos orgánicos se pueden representar por serie **acíclica** y **cíclica**. La



primera también se conoce como alifática, de estructura esquelética o de barras. En esta representación los compuestos se simbolizan por líneas y los átomos de carbono vienen dados por los vértices o puntos de encuentros de dos líneas o el punto del principio o final de las líneas en el caso de los extremos; en la serie cíclica comprende todos aquellos compuestos que en su estructura forma ciclos. Esta serie se

subdivide en dos subgrupos: carbocíclicos y heterocíclicos. [Esquema 4.2]

Los **carbocíclicos** son aquellos compuestos que presentan en su estructura anillos formados por carbono e hidrógeno, como el benceno, ciclohexano, etc., mientras que el grupo de los **heterocíclicos** son aquellos compuestos que presentan anillos con átomos distintos al hidrógeno.

La palabra heteroátomo se refiere a que en la cadena se ve sustituido el carbono por un átomo diferente a él que pueden ser N, S, O, P etc.

El compuesto 1,4-dioxano es un compuesto heteroátomo, líquido incoloro, miscible en agua. Debido a la polaridad es ampliamente utilizado en síntesis orgánica. Según investigaciones realizadas en los Estados Unidos dicho compuesto no es cancerígeno.

## Representación de las fórmulas químicas

Los químicos han representado a los compuestos orgánicos de acuerdo con sus requerimientos, es decir, los compuestos orgánicos pueden formar cadenas de más de cien uniones de carbono. Los expertos en química orgánica han creado varias fórmulas químicas (representaciones) con la finalidad de ahorrarnos tiempo en la escritura de los compuestos con gran número de átomos de carbono; éstas son: condensada, semidesarrollada y desarrollada o estructura de Lewis. Veamos cada una de ellas:

**Fórmula condensada:** también conocida como fórmula molecular, expresa el número total y tipo de átomos presente en el compuesto, por ejemplo  $C_6H_{12}O_6$  (glucosa), que indica la

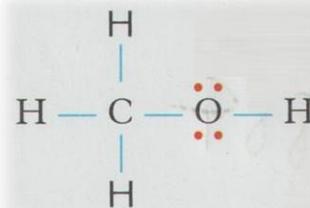


Figura 4.10 Representación de la fórmula desarrollada con la estructura del metanol, donde se indica los dos pares de electrones libres del átomo de oxígeno. Este tipo de figura es muy utilizada para justificar los mecanismos de reacción (deducción de los comportamientos electrónicos en la formación de la molécula).

existencia de seis átomos de carbono y oxígeno, además de doce átomos de hidrógeno.

**Fórmula semidesarrollada:** esta fórmula es comúnmente aplicada, ya que expresa el número total, el tipo de átomos en la molécula y el grupo funcional presente en la molécula; por ejemplo la expresión  $C_2H_5OH$ , muestra la presencia del grupo hidroxilo (OH) característico en los alcoholes de los compuestos orgánicos; en este caso se trata del etanol.

**Fórmula desarrollada o estructura Lewis:** indica la posición en la estructura de los átomos y el tipo de enlace entre ellos, así como la representación de electrones libres. **[Figura 4.10]**

Las representaciones de fórmulas químicas se observan a continuación:

Compuesto	Estructura de Lewis	Fórmula semidesarrollada
Dietileter	$  \begin{array}{ccccccc}  & H & H & & H & H & \\  &   &   & &   &   & \\  H & - C & - C & - \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{O}} & - C & - C & - H \\  &   &   & &   &   & \\  & H & H & & H & H &   \end{array}  $	$C_4H_{10}O$
Ácido acético	$  \begin{array}{ccccccc}  & H & & & & & \\  &   & & & & & \\  H & - C & - C & - \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{O}} & - H \\  &   &    & & & & \\  & H & :O: & & & &   \end{array}  $	$C_2H_4O_2$
Dimetilamina	$  \begin{array}{ccccccc}  & H & H & H & & & \\  &   &   &   & & & \\  H & - C & - N & - C & - H \\  &   & \cdot\cdot &   & & & \\  & H & & H & & &   \end{array}  $	$(CH_3)_2NH$

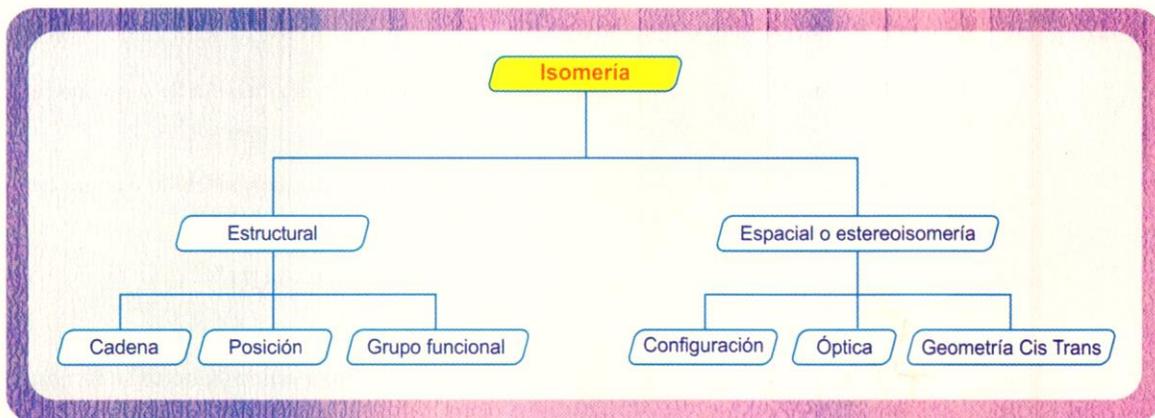
Tabla 4.1 Algunos ejemplos de las representaciones de fórmulas químicas.

## Isomería

En el supermercado, en el departamento de frutas y verduras, observa el lugar donde se exhiben las manzanas rojas, amarillas y verdes, y te darás cuenta de que químicamente tienen la misma composición, es decir, elementos como el potasio, calcio, magnesio, sodio, fósforo, cloro, azufre, etc., además de vitaminas, ácido málico y azúcares. Sin embargo, al observarlas morfológicamente deduces que pueden presentar cierta variación en su estructura como tamaño, color, etc., y podemos concluir que son parecidas, pero no iguales; en términos de química si fueran compuestos los llamarían isómeros.

**Isómeros** son los compuestos que presentan la misma fórmula molecular pero difieren en la posición de los átomos; por ende, sus propiedades son distintas.

De acuerdo con la diferente disposición espacial de los átomos, existen varios tipos de isomería. **[Esquema 4.3]**



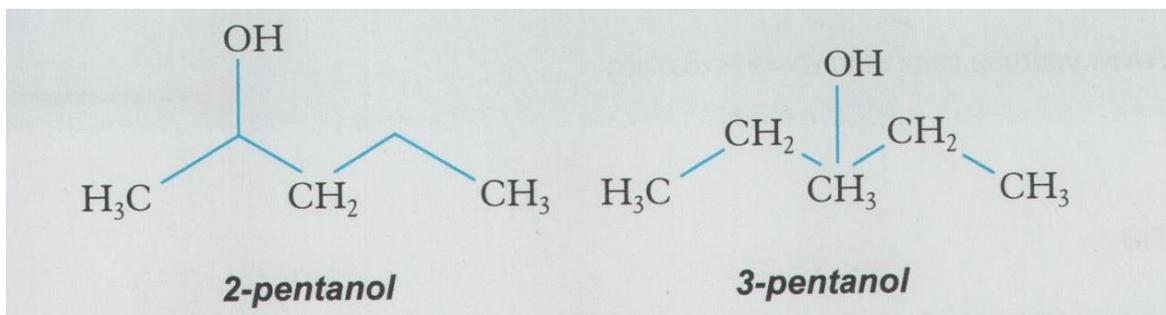
Esquema 4.3 Tipos de isomería.

### Isomería estructural

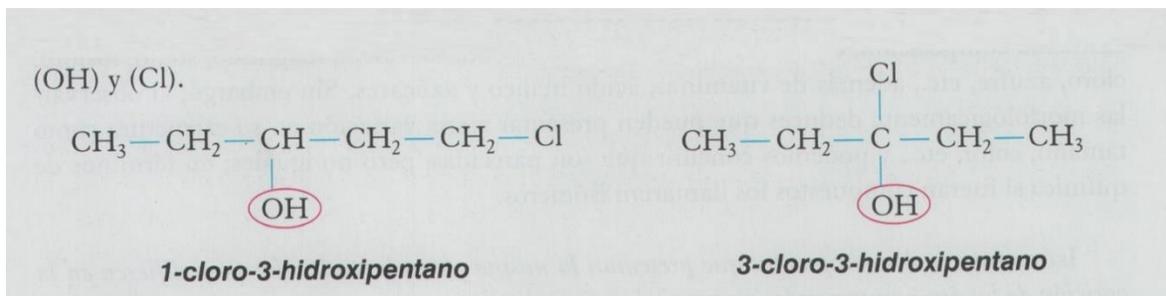
Los isómeros estructurales difieren en la forma de unir los átomos y a su vez se clasifican en isómeros de cadena, de posición y de función.

### Isómeros de posición

Este tipo de isomería indica que el grupo funcional o sustituyente presente en la estructura varía de posición en la cadena del compuesto; también se da cuando en la estructura existen dobles o triples o varios sustituyentes. Por ejemplo:



Cuando aumenta el número de sustituyentes en la cadena, se incrementa considerablemente el número de isómeros; por ejemplo, cuando el **n-pentano** tiene dos grupos funcionales (OH) y (Cl).



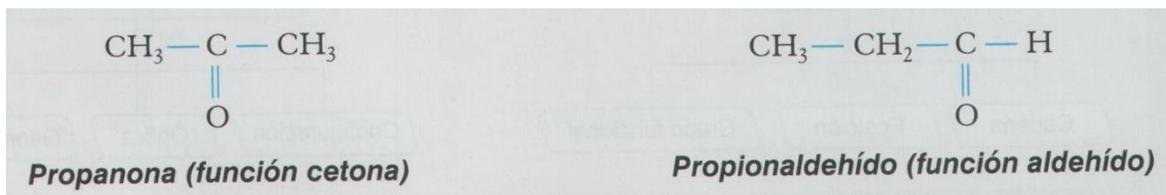
### Isomería de cadena

Los compuestos que presentan este tipo de isomería tienen la característica de poseer los mismos tipos de átomos y las mismas cantidades, pero se diferencian por la distribución de esos átomos en la cadena.

### Isomería de función o de grupo funcional

Tienen la misma fórmula condensada; difieren únicamente en la situación de su grupo funcional sobre el esqueleto carbonado.

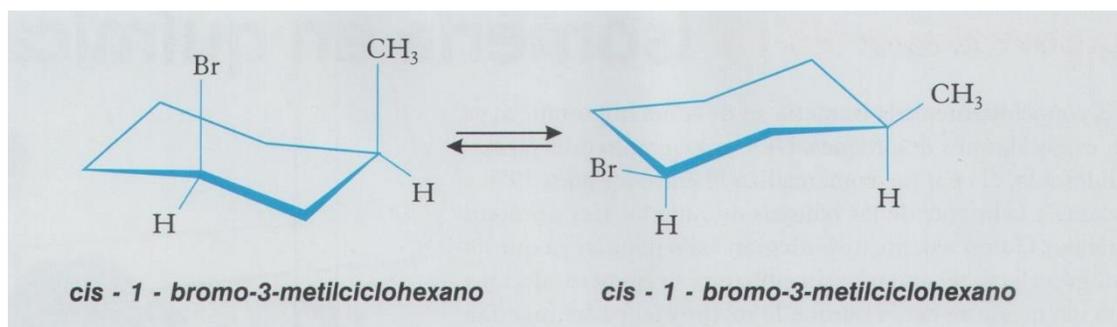
Por ejemplo, la fórmula molecular  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$  puede representar a un aldehído o a una cetona, es decir, puede dar origen a dos funciones distintas.



### Estereoisomería

Son isómeros que se diferencian en la orientación de sus átomos en el espacio.

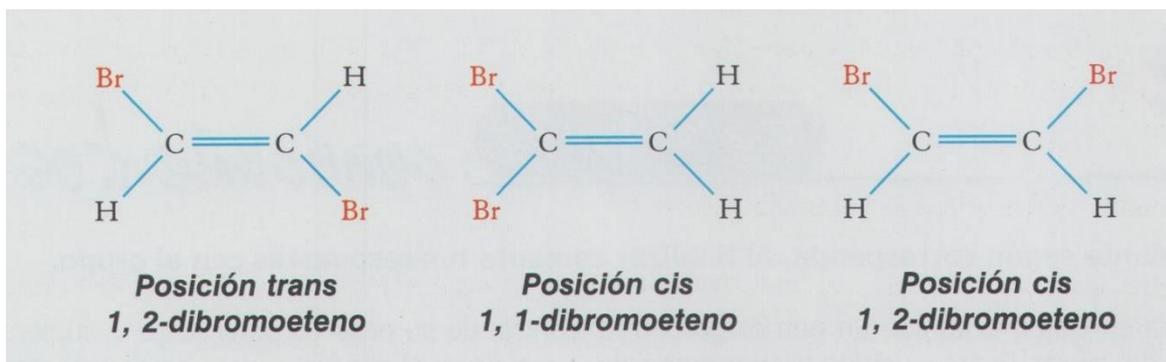
Los **estereoisómeros configuracionales** son isómeros que tienen la misma fórmula molecular y la misma secuencia de átomos unidos, pero existe diferencia en la orientación tridimensional de sus átomos en el espacio.



Los **estereoisómeros configuracionales ópticos** presentan la misma composición e igual constitución, pero difieren entre sí en la configuración alrededor de un centro asimétrico o quiral (centro que presenta cuatro sustituyentes diferentes —a, b, c, d-). Presentan diferentes propiedades ópticas.

### Estereoisomería configuracional geométrica (cis-trans)

Ésta se presenta en los alquenos o cicloalcanos debido a la diferencia que existe en la disposición geométrica de los grupos sustituyentes en el doble enlace. El isómero cis presenta los grupos iguales en el mismo lado del doble enlace, mientras que el isómero trans presenta los grupos iguales en lados opuestos del doble enlace; la existencia de isómeros cis-trans se debe a la existencia de dos grupos diferentes en cada extremo del doble enlace, ya que al invertirse esas posiciones a los mismos sustituyentes no forman un compuesto diferente. Ejemplo:



Otro ejemplo es el 1,3 diclorociclopentano:



## 4.3 CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES FÍSICAS Y NOMENCLATURA GENERAL DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS

Las propiedades físicas son las características que tienen las sustancias sin afectar la composición o identidad de la sustancia, por ejemplo, el punto de fusión, punto de ebullición, densidad, color, viscosidad, dureza, etc. Pero éstas tienen mucha relación con las fuerzas intermoleculares e intramoleculares de la molécula, es decir, al existir un reordenamiento estructural, los valores de las propiedades físicas se ven alterados.

Un claro ejemplo de lo anterior es cuando se pone a calentar el agua, y ésta empieza a formar burbujas en el fondo del recipiente; entonces podemos decir que la energía cinética de la molécula del agua se ve incrementada, por lo que las fuerzas intermoleculares (fuerza entre las moléculas de agua) se rompen formando así espacios (burbujas) y al seguir incrementando la temperatura, la «burbuja» (molécula de agua en estado gaseoso) sube por el recipiente y se presenta la ebullición, presentando un equilibrio entre la presión atmosférica y la presión ejercida por las moléculas del agua (presión de vapor). En este acontecimiento, se ve afectada la variación de las propiedades físicas, es decir, presión, punto de ebullición, así como el cambio de estado del agua (líquido a gas). Si analizamos a detalle, la composición química nunca se ve afectada, se alteran los valores de las propiedades físicas debido al reordenamiento de las fuerzas de atracción afectando directamente a las propiedades físicas. **[Ilustración 4.1]**

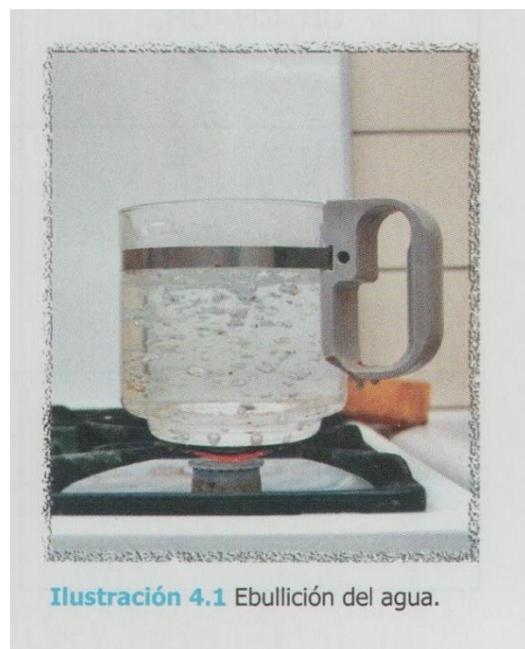


Ilustración 4.1 Ebullición del agua.

Los compuestos orgánicos, al igual que los inorgánicos, presentaban nombres triviales o comunes, nombrados por voluntad de sus descubridores, como es el caso del alcaloide morfina. El nombre proviene de Morfeo, dios del sueño. El ácido fórmico se deriva de la palabra fórmica, que es un género de las hormigas, debido a que fue aislado de ellas. Otro ejemplo que podemos mencionar es el ácido barbitúrico, agente tranquilizante que se comenta que fue nombrado así en honor de Bárbara, una amiga del descubridor, el químico Adolf von Baeyer.

Conforme se iban descubriendo compuestos se estaba volviendo un caos, por lo que hubo la necesidad de establecer reglas sistematizadas para nombrarlos, por lo que la UIQPA (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) tuvo que

homogenizar los nombres. Para eso tuvo que establecer reglas. Por ejemplo, el nombre UIQPA del ácido del vinagre es ácido acético.

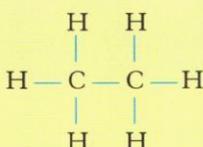
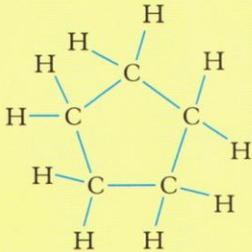
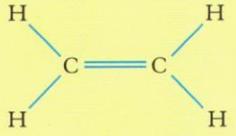
## Regla general para nombrar compuestos orgánicos

La UIQPA establece que un nombre químico presenta cuatro partes, es decir, prefijo + localizador + cadena principal + sufijo. El prefijo especifica la localización y la identificación de varios grupos sustituyentes (radicales) en la molécula; el localizador indica la ubicación del grupo funcional primario, la cadena principal selecciona una parte principal de la molécula e indica la cantidad de átomos de carbono que están en la cadena, y el sufijo identifica el grupo funcional primario.

## Hidrocarburos (alcanos, alquinos, aromáticos)

Los hidrocarburos son sustancias que están formados sólo de carbono e hidrógeno; se clasifican en aromáticos y alifáticos.

Los **alifáticos** presentan cadenas lineales, mientras que los aromáticos son derivados del benceno. Los alifáticos se dividen en:

Alcanos		Presenta enlaces sencillos entre átomos de carbono.
Cicloalcanos		Tiene enlaces sencillos entre átomos de carbono; forma ciclos.
Alquenos		Presenta dobles enlaces entre átomos de carbonos.
Alquinos		Contiene triples enlaces entre átomos de carbono.

## Alcanos

Seguramente has utilizado las velas, principalmente en el pastel de cumpleaños. Químicamente esa sustancia pertenece al grupo de los alcanos, también conocidos como hidrocarburos saturados, llamados así porque el carbono presenta cuatro uniones con átomos de hidrógenos con enlaces covalentes sencillos. Su fórmula general es  $C_nH_{2n+2}$  donde n es cualquier número ordinario. Por ejemplo, si  $n = 6$  entonces la fórmula quedará de la siguiente manera:  $C_6H_{14}$ . La fórmula nos indica la cantidad de átomos de hidrógenos y de carbonos.

Existen algunos alcanos como metano, etano, propano y butano que presentan nombres triviales. La UIQPA ha respetado dichos nombres por sus raíces históricas. Por ejemplo, el metano es un gas que se aisló por primera vez de la descomposición bacteriana anaerobia de la materia vegetal subacuática, llamado comúnmente el gas de los pantanos.

A partir del pentano en adelante, los alcanos se nombran utilizando el prefijo numérico (indica la cantidad de carbonos) con el sufijo **-ano**.

Los alcanos presentan punto de fusión y de ebullición más bajos que los de otros compuestos orgánicos de peso molecular parecido. A presión de una atmósfera y 20 °C, los cuatro primeros alcanos son gases; a partir del pentano hasta el hexadecano son líquidos; a partir del heptadecano son sólidos. **[Tabla 4.2]**

Nombre	Núm. de carbonos	Estado de agregación	p.eb. °C	p.f. °C	Densidad g/ml
Metano	1	Gas	-161.5	-183	0.424
Etano	2		-88.6	-172	0.546
Propano	3		-42.1	-188	0.501
Butano	4		-0.5	-135	0.579
Pentano	5	Líquido	36.1	-130	0.626
Octano	8		125.7	-57	0.703
Undecano	11		195.9	-26	0.740
Tetradecano	14		251	5.5	0.764
Pentadecano	15		270	10	0.769
Heptadecano	17	Sólido	303	22	0.776
Octadecano	18		308	28	0.777
Nonadecano	19		330	32	0.778
Icosano	20		343	37	0.778

**Tabla 4.2** Algunos alcanos con sus propiedades físicas (T=20 °C y P= 1atm)

## Nomenclatura de los alcanos acíclicos

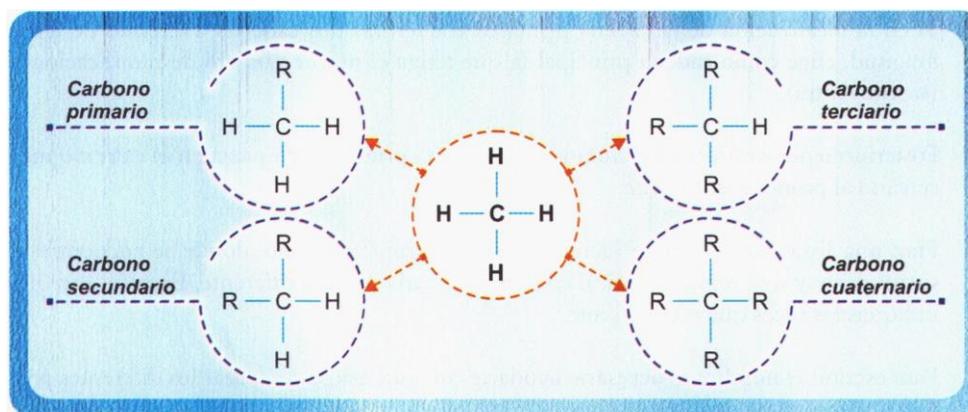
Para nombrar los alcanos es necesario seguir los siguientes puntos:

1. Localiza la cadena más larga de átomos de carbono presente en la molécula; eso te ayudará a ponerle nombre a la cadena; llamémosle nombre base.
2. Si en la localización de la cadena principal encuentras dos cadenas diferentes de igual longitud, elige como cadena principal la que tenga el mayor número de ramificaciones (sustituyentes).
3. Posteriormente, enumera los átomos en la cadena principal; empieza en el extremo más cercano al primer sustituyente.
4. Haz una lista que te facilite identificar el número de carbono, dónde se encuentra el sustituyente y si se repite el radical en el mismo carbono o en diferente. Es necesario que indiques las veces que está presente.
5. Para escribir el nombre es necesario ayudarte con guiones para separar los diferentes prefijos y comas para separar los números. Si localizas en la cadena varios sustituyentes será necesario que los menciones en orden alfabético; en caso de que se encuentren más de dos sustituyentes iguales, aplica los prefijos numéricos (di, tri, tetra, etc.). No utilices los prefijos para ordenar los sustituyentes de manera alfabética.
6. Toma en cuenta que los alcanos pueden ser radicales eliminando el sufijo -ano por -il o -ilo a la raíz del nombre; se presentan en las ramificaciones de la cadena principal. **[Tabla 4.3]**

Alcano		Radical	Nombre del radical
Metano	CH <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> C —	Metil
Etano	CH <sub>3</sub> — CH <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> C — CH <sub>2</sub> —	Etil
Propano	CH <sub>3</sub> — CH <sub>2</sub> — CH <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> C — CH <sub>2</sub> — CH <sub>2</sub> —	Propil
		$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Isopropil
Butano	CH <sub>3</sub> — CH <sub>2</sub> — CH <sub>2</sub> — CH <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> C — CH <sub>2</sub> — CH <sub>2</sub> — CH <sub>2</sub> —	Butil
		$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Isobutil
		$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Secbutil
		$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{CH}_3 \\   \end{array}$	Terbutil

Tabla 4.3 Radicales alquilo.

En los hidrocarburos saturados se emplean otros prefijos que provienen de los sustituyentes del carbono, es decir, tomando como base al metano; si se sustituye un hidrógeno por un radical cualquiera se dice que el carbono es de tipo primario; si existen dos sustituyentes entonces el carbono es secundario (sec); si fueran tres sustituyentes entonces sería carbono terciario (ter) y por último si se presenta la sustitución de los cuatro átomos de hidrógeno en el carbono entonces es un cuaternario. [Esquema 4.4]



**Esquema 4.4** Tipos de átomos de carbono de acuerdo con el número de hidrógenos sustituidos por grupos R o Ar. En el esquema, la letra R representa a ambos.

Buscar los sustituyentes y nombrar la cadena; como sustituyentes son: C3 = metil, C5 = isopropilo, C8 = terbutil, C10 = etil, por lo tanto el nombre correspondiente al compuesto es: 10 – etil – 5 – isopropil – 3 – metil – 8 – terbutil - tridecano.

### Propiedades físicas de los alcanos

Los puntos de fusión y ebullición de los alcanos son bajos y aumentan a medida que crece el número de carbonos y por ende se incrementa el número de electrones y la masa molecular. Las interacciones débiles que se presentan entre las moléculas se deben a las fuerzas de London, también llamadas fuerzas de dispersión, debido a la interacción débil entre dipolos inducidos.

Dada su escasa reactividad, los alcanos también se denominan parafinas. Las reacciones más importantes de este grupo de compuestos son las halogenaciones y la combustión. Este último es la combinación del hidrocarburo con oxígeno, para formar dióxido de carbono y agua.

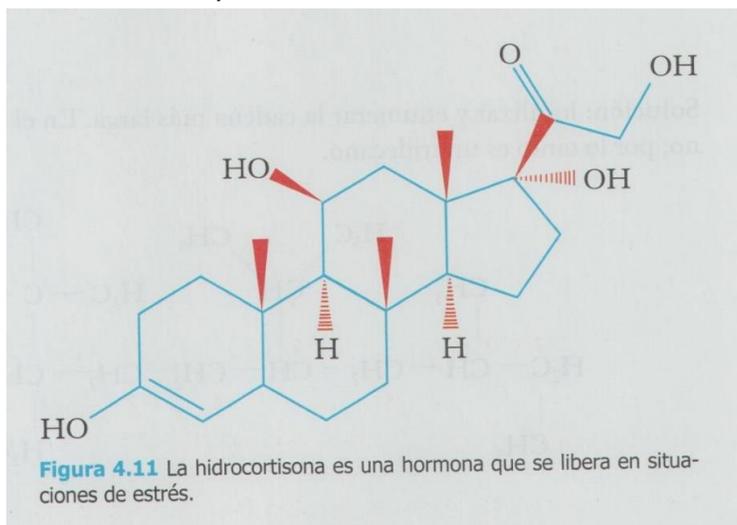
Las parafinas sólidas se obtienen del petróleo, tienen consistencia cerosa y se funden, aproximadamente, entre 50 y 60 °C. Presentan cadenas de 25 a 30 átomos de carbono; se utilizan en la fabricación de velas, cosméticos, sellado de frascos y matraces para el laboratorio, así como para revestir algunos productos metálicos con el objetivo de cubrirlos de la corrosión; se utiliza para encerar papel, etc.

Los hidrocarburos se disuelven en compuestos no polares como cloroformo, éter de petróleo, ciclohexano, grasa, etc. La viscosidad de los alcanos se incrementa conforme el peso molecular. Esto se debe a la resistencia al deslizamiento de las moléculas largas.

### Alcanos cíclicos

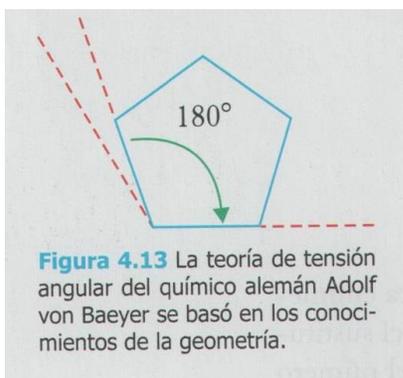
Muchos compuestos orgánicos de cadenas abiertas forman estructuras cerradas llamados ciclos. Existe un sinnúmero de compuestos tanto biológicos como sintéticos que presentan ciclos en sus estructuras, como es el caso de la **hidrocortisona [Figura 4.11]**, hormona esteroidal producida por la glándula suprarrenal. Dicho compuesto se libera como respuesta al estrés. Esta hormona hace que el organismo libere glucosa a la sangre para enviar cantidades masivas de energía a los músculos; su estructura química está conformado por 3 ciclohexanos y un ciclopentano.

Los alcanos lineales forman estructuras cerradas llamadas **cicloalcanos**, también conocidos como **alicíclicos**. La fórmula general de dichos compuestos corresponde a  $C_nH_{2n}$ . Como observarás, la fórmula indica la pérdida de 2 átomos de hidrógeno. Esto se debe a que al cerrarse el ciclo existe una sobresaturación, por lo que es necesario que exista la pérdida de los dos hidrógenos. Los cicloalcanos se forman a partir del ciclopropano, le siguen el ciclobutano, ciclopentano, ciclohexano, etc.



### Nomenclatura de los cicloalcanos

1. Localizar el ciclo principal y enumerar los carbonos presentes en él.
2. Ubicar los sustituyentes presentes en el ciclo. Cuando existen varios sustituyentes es necesario tomar como punto de referencia un carbono con radical; el segundo sustituyente se enumerará de acuerdo con la menor cantidad de carbonos en el ciclo, y así sucesivamente.
3. Cuando estén presentes dos o más radicales alquilo u otro sustituyentes es necesario nombrarlos alfabéticamente.



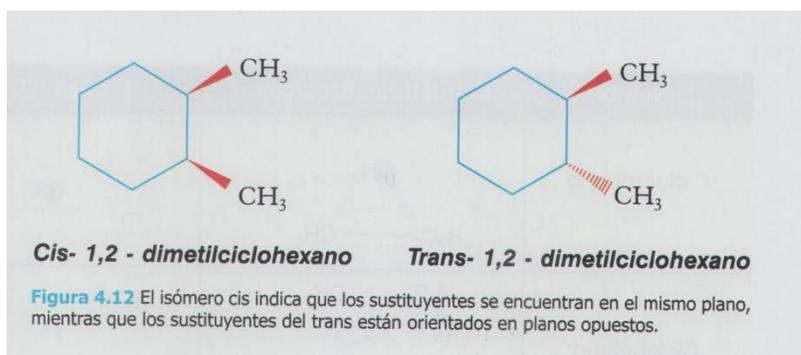
4. Para nombrarlos se deberá colocar el prefijo ciclo delante del nombre del alcano normal; posteriormente se escribirán los sustituyentes ordenándolos de manera alfabética.

La química de los cicloalcanos muestra que son menos flexibles en comparación con los alcanos lineales. Analicemos algunos: el ciclopropano es una molécula plana y rígida debido a que los tres

átomos de carbono evitan la rotación alrededor del enlace carbono-carbono, pero si existe movimiento entre ellos con esto evitan que la estructura se rompa.

Los cicloalcanos con más átomos de carbono presentan más flexibilidad. Debido a esto, los químicos los describen como estructuras de «dos caras», inferior y superior. Los compuestos sustituidos presentan estereoisomería. Dependiendo de la posición de los grupos en el espacio, podemos tener isómeros cis o trans [Figura 4.12]

En 1885, Adolf von Baeyer propuso una justificación para la inflexibilidad que presentan los cicloalcanos proponiendo el tema de tensión angular. Esto se basa en la rigidez que presentan las moléculas cuando los ángulos de enlace ( $109^\circ$ ) son forzados a transformar la forma tetraédrica. Concluyó que el ciclopropano debía ser un triángulo equilátero con ángulos de enlace de  $60^\circ$ . El ciclobutano presentaría ángulos de  $90^\circ$  porque su estructura sería similar a un cuadrado, mientras que el ciclopentano tendría los ángulos de un pentágono; es decir,  $108^\circ$ . Finalmente, mencionó que los anillos que presentan más átomos de carbono deben de tener ángulos mayores a  $109^\circ$ .



### Conformaciones de los cicloalcanos

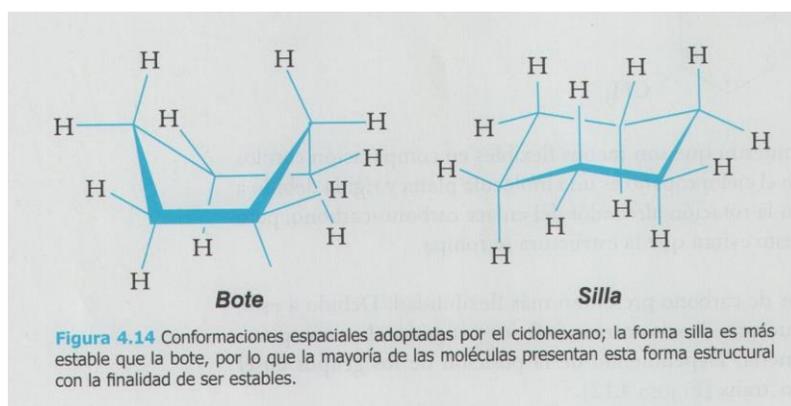
Baeyer concluyó que el ciclopropano presenta cierta rigidez por los ángulos de enlace en las uniones entre átomos de carbono, además de la inflexión que presentan los enlaces de C-H.

Sin embargo, para explicar la distorsión de los ángulos de  $60^\circ$ , los científicos dedujeron que tiene **enlaces doblados**, sus orbitales no se traslapan

directamente, que es lo que sucede en las estructuras de los alcanos «normales», sino más bien se superponen en un ángulo. [Figura 4.13]

Debido a la justificación que hicieron los científicos en la existencia de enlaces doblados, explicaron que el ciclohexano adopta formas tridimensionales llamadas **conformación silla y bote**. La primera se asemeja a un sillón con respaldo en este caso los ángulos de enlace están cercanos a  $109^\circ$  y los enlaces C-H están superpuestos; en tanto que la conformación bote, además de presentar tensión angular, muestra otro tipo de tensión cuando sus átomos logran acercarse (tensión estérica), además de la tensión torsional que se presenta cuando se repelen los electrones. [Figura 4.14]

### Propiedades físicas de los cicloalcanos



Los cicloalcanos presentan mayores puntos de fusión y ebullición en comparación con los alcanos lineales de igual número de carbonos. Las tensiones que presenta la estructura permiten un mayor número de

interacciones intermoleculares, que es necesario romper mediante la aportación de energía para cambiar el estado de agregación de las moléculas. [Tabla 4.4]

Nombre	Estructura cicloalcano	p. eb (°C)	p. f. (°C)
Ciclopropano		-33	-127
Ciclobutano		11	-80
Ciclopentano		49	-94

**Tabla 4.4** Estructura y propiedades de algunos cicloalcanos.

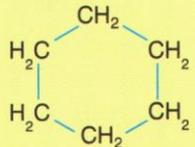
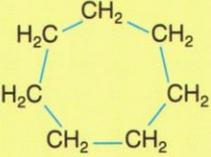
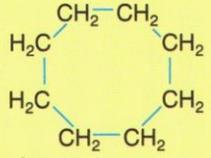
Nombre	Estructura cicloalcano	p. eb (°C)	p. f. (°C)
Ciclohexano		81	64
Cicloheptano		117	-13
Ciclooctano		147	14

Tabla 4.4 Estructura y propiedades de algunos cicloalcanos (Continuación).

### Algunos cicloalcanos de interés

El **ciclohexano** es un líquido incoloro, altamente flamable; es utilizado como disolvente y presenta olor semejante a la gasolina. La estructura del ciclohexano se encuentra presente en muchos compuestos de interés biológico como la testosterona, mentol, progesterona, [Figura 4.15] vitaminas, etc.

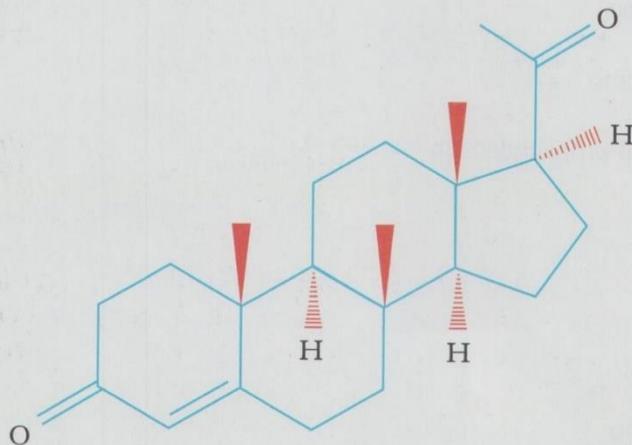


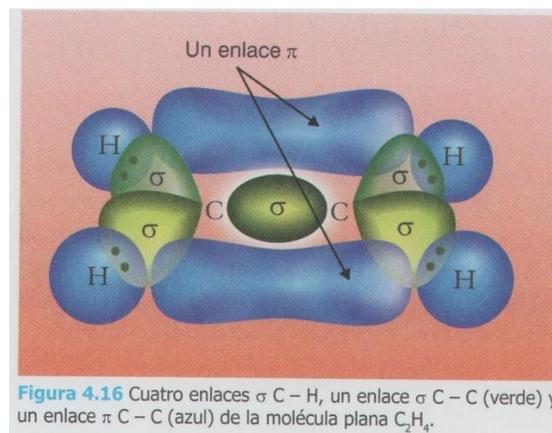
Figura 4.15 La progesterona es una hormona sexual femenina; se encuentra principalmente en los ovarios y en la placenta; estructura compuesta por tres ciclohexanos y un ciclopentano.

## Alquenos alifáticos y cíclicos

Los alquenos son compuestos presentes en la naturaleza como el etileno, hormona de las plantas responsable de la maduración de la fruta. También lo encontramos de manera sintética en los plásticos; los alquenos son compuestos también llamados **olefinas** o **etilenos**.

Repasando un poco el tema de hibridación, en este tipo de moléculas se forman tres orbitales  $sp^2$ , que están en el mismo plano y separados en ángulos de  $120^\circ$ ; también está presente un orbital  $2p$ , perpendicular a este plano.

Son hidrocarburos que presentan dobles enlaces en la unión de carbono-carbono, a lo que se le llama **insaturación**. La fórmula general es  $C_nH_{2n}$ , al igual que la de los cicloalcanos. [Figura 4.16]



## Nomenclatura de los alquenos y cicloalquenos

Para nombrar los alquenos es necesario que tengas presente la nomenclatura de los alcanos.

1. Se identifica y se enumera la cadena más larga donde se encuentre la insaturación, que pueden ser varias. La numeración se tomará como 1 en el extremo de la cadena más próxima a la insaturación, indicando la prioridad del doble enlace.
2. Se nombra la base del alcano de la estructura principal cambiando la terminación -ano por -eno.
3. Si la estructura presenta más de una insaturación es necesario considerarlas con el apoyo de prefijos numerales, es decir, dieno (dos dobles enlaces), trieno (tres dobles enlaces) y así sucesivamente.
4. La UIQPA también menciona que se debe ubicar la posición de las insaturaciones.
5. Identifica los sustituyentes de acuerdo con las posiciones en la cadena principal y se escribirán de forma alfabética según la regla de los alcanos.

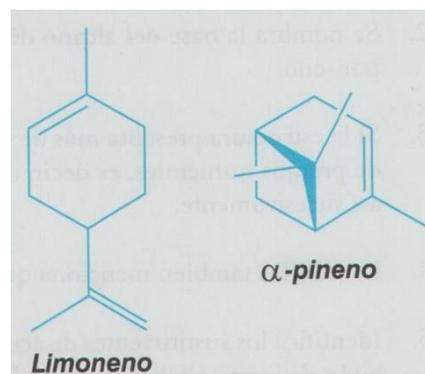
## Propiedades físicas de los alquenos

Los enlaces dobles C-C son más cortos, 1.31Å; en comparación con los enlaces sencillos C-C 1.54Å; las propiedades físicas de los alquenos tienen cierta semejanza con los alcanos.

### Algunos alquenos de interés

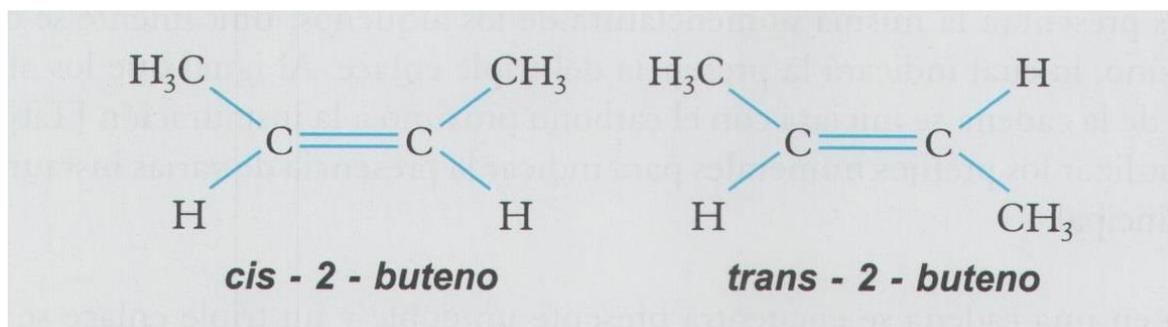
**Eteno o etileno.** El etileno es un compuesto que sintetizan las plantas. Es considerado como hormona debido a que presenta una relación directa con el crecimiento, desarrollo, maduración y envejecimiento de todas las plantas. Este compuesto fue utilizado como anestésico y también se utiliza para la formación de polímeros como el polietileno.

Los aceites esenciales son compuestos naturales con estructuras de alquenos llamados terpenos. Algunos de estos compuestos son lineales y otros presentan estructuras cíclicas complejas; estos compuestos tienen una cadena base llamada **isopreno** (2-metil- 1,3-butadieno). Algunos ejemplos son limoneno y  $\alpha$ -pineno, ampliamente utilizado en la industria del perfume. [Figura 4.17]



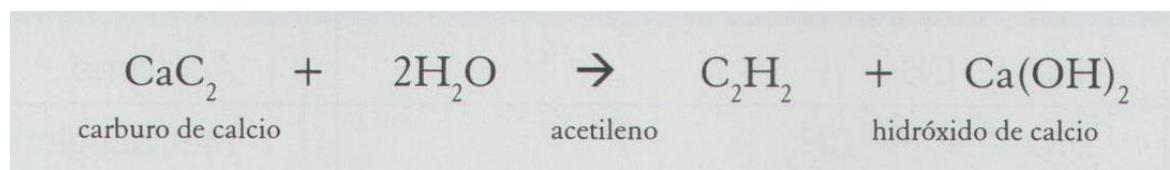
**Figura 4.17** El limoneno es un terpeno aislado de las cáscaras de los cítricos principalmente del limón; el  $\alpha$ -pineno es un compuesto aislado de la resina, hojas y tallos de los pinos.

El doble enlace en la estructura hace que los alquenos presenten en muchos compuestos isomería cis-trans; ejemplo:

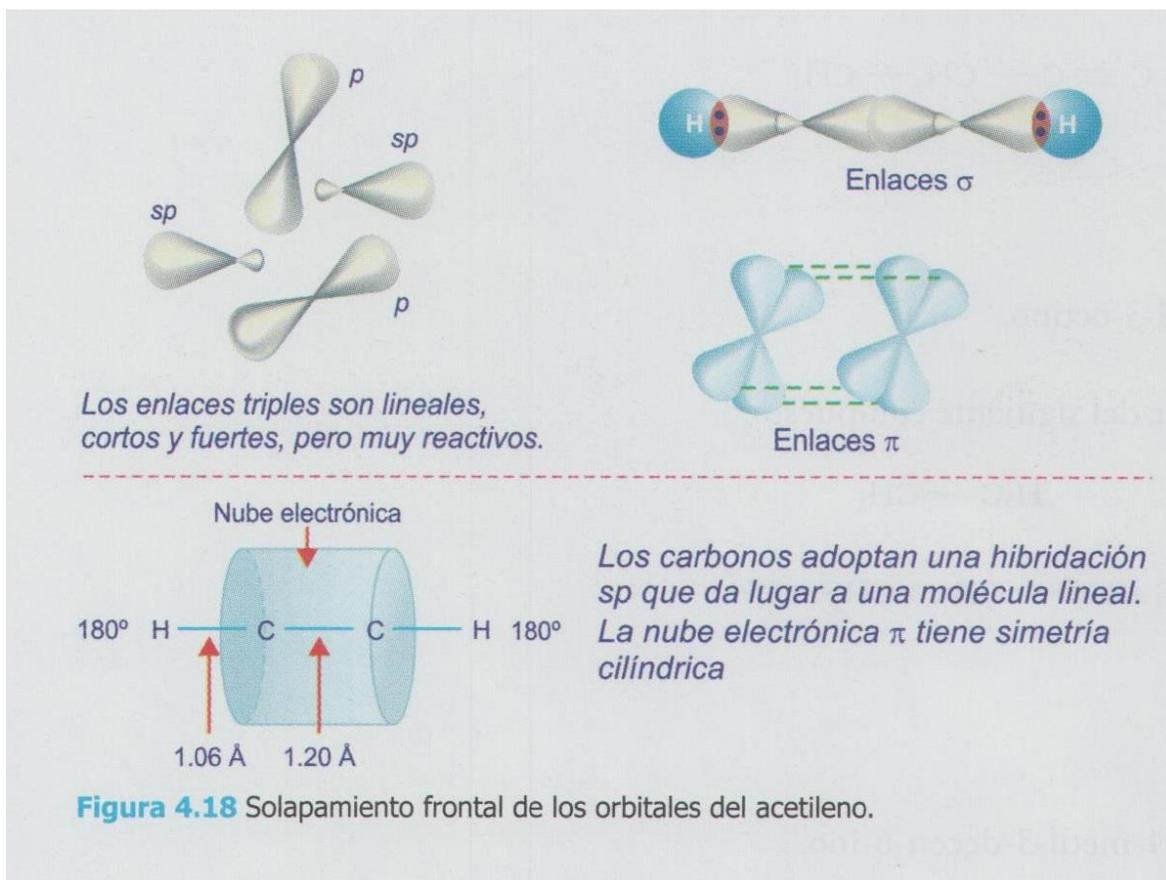


### Alquinos

La reacción del agua con el carburo de calcio genera un gas que en combinación con el oxígeno llega a alcanzar una temperatura de 3000 °K (2727 °C); es ampliamente utilizado para el corte o soldadura de acero. Observa la reacción:



Los alquinos son hidrocarburos que presentan uno o varios enlaces triples entre los enlaces carbono-carbono. En la molécula del acetileno, un orbital  $sp$  forma un enlace sigma con el segundo átomo de carbono, y los dos orbitales  $p$  forman dos orbitales pi ( $\pi$ ); el triple enlace está constituido por el solapamiento frontal de dos híbridos  $sp$  (un enlace sigma) y el lateral de cuatro orbitales  $p$  sin hibridar (dos enlaces  $\pi$ ). **[Figura 4.18]** Los alquinos no presentan isomería cis-trans.



### Nomenclatura de los alquinos

Los alquinos presentan la misma nomenclatura de los alquenos; únicamente se diferencian en el sufijo -ino, lo cual indicará la presencia del triple enlace. Al igual que los alquenos, la numeración de la cadena se iniciará con el carbono próximo a la instauración. **[Tabla 4.5]** No se te olvide utilizar los prefijos numerales para indicar la presencia de varias instauraciones en la cadena principal.

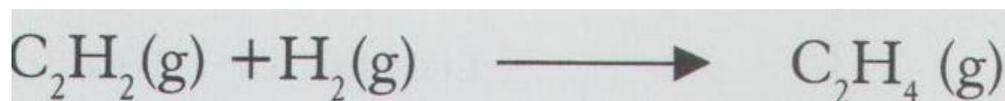
Cuando en una cadena se encuentra presente un doble y un triple enlace se les conoce como **eninos**. La numeración de este tipo de cadenas inicia desde el extremo más cercano al primer enlace múltiple, sin importar si es triple o doble, pero si ambos están en los extremos entonces se enumerará primeramente el doble enlace.

Nombre	Fórmula	Nombre común
Etino	$\text{HC} \equiv \text{CH}$	Acetileno
Propino	$\text{HC} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$	Metilacetileno
1-butino	$\text{HC} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Etilacetileno
2-butino	$\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$	Dimetilacetileno
1-pentino	$\text{HC} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	n-propilacetileno
2-pentino	$\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Metiletilacetileno
1-hexino	$\text{HC} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	n-butilacetileno
2-hexino	$\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Metilpropilacetileno
3-hexino	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	Dietilacetileno

Tabla 4.5 Ejemplos de algunos alquinos y sus nombres comunes.

## Propiedades Físicas de los alquinos

El acetileno es el alquino más sencillo; cuando se hidrogena produce etileno (alqueno) Analiza la siguiente reacción:



Los tres primeros alquinos (etino, propino y butino) son gases; después del cuarto hasta el pentadecaíno son líquidos, y a partir del hexadecaíno son sólidos.

## Hidrocarburos aromáticos

Los **hidrocarburos aromáticos**, también llamados arenos, son compuestos presentes en la naturaleza y también sintéticos; se pueden localizar en medicamentos, compuestos en las plantas, colorantes, insecticidas, drogas, etc. [Figura 4.19]

La estructura base de dichos compuestos es el benceno, compuesto descubierto por Faraday en 1865. Tiene seis átomos de carbono y una nube de electrones que rodea a la estructura, derivado de las tres insaturaciones (enlaces pi) que presenta. Kekulé describe que la estructura bencénica es una mezcla de enlaces sencillos y dobles. Además presenta estructura híbrida derivado de la resonancia

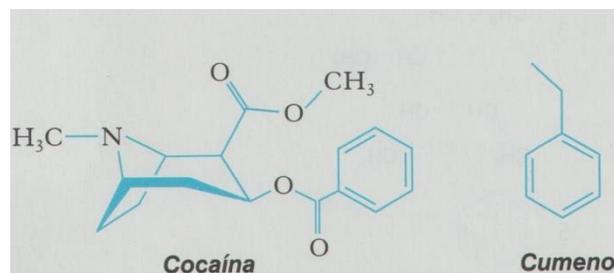
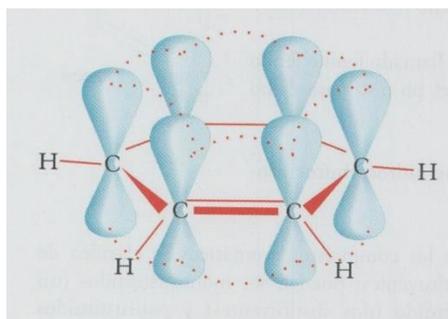
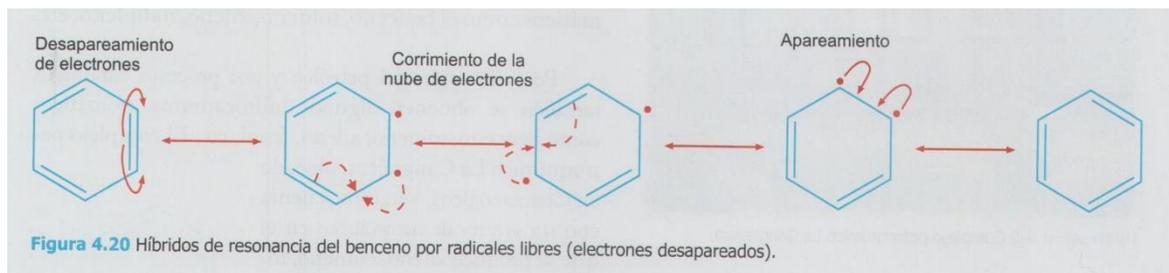


Figura 4.19 La cocaína es un compuesto aislado de la planta llamada coca. Es un estimulador del sistema nervioso y supresor del hambre; era utilizado como anestésico. En la actualidad está prohibido. El cumeno se utiliza como componente de alto octanaje en el combustible de los aviones; también se utiliza como materia prima para síntesis de fenol, acetona y estireno.

(movimiento de electrones). Todas ellas son aceptadas para representar la estructura del benceno. **[Figura 4.20]**



Basándonos en los fundamentos de la química cuántica, el benceno se encuentra formado por hibridaciones  $sp^2$ ; cada átomo se encuentra unido a tres átomos, dos carbonos y un hidrógeno, ubicados en el mismo plano.

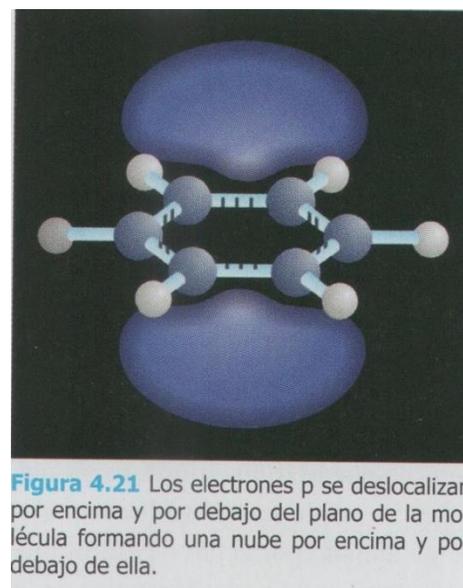
El traslape existe entre los orbitales p de ambos átomos de carbono, por lo que las nubes electrónicas son de manera continua como si fuera

los panes de un sándwich. **[Figura 4.21]**

La ubicación de los enlaces pi y la aromaticidad que presentan es lo que permite que el benceno y sus derivados presenten propiedades químicas.

La **aromaticidad** es una propiedad de los hidrocarburos cíclicos conjugados, donde los electrones de los dobles enlaces presentan cierta «libertad» de movimiento, ya que logran circular alrededor entre los enlaces.

Otra representación que le otorgan al benceno es un ciclo en el interior; se dibuja un círculo que indica el giro de los electrones pi en la molécula. **[Figura 4.22]**



Inicialmente, la palabra aromático era asignada a todos aquellos compuestos que presentaban cierto «aroma», sin embargo, se dieron cuenta de que no todos presentaban dicha propiedad. Los hidrocarburos se derivan de dos fuentes muy importantes: carbón y petróleo.



La obtención de compuestos aromáticos se basa en la formación del alquitrán de hulla, que es una mezcla elaborada a partir del calentamiento del carbón a una temperatura superior a 800 °C. De la destilación fraccionada de dicha mezcla se obtienen compuestos aromáticos como el benceno, tolueno, xileno, naftaleno, etc.



Ilustración 4.2 Complejo petroquímico La Cangrejera.

Por refinación del petróleo y por procesos catalíticos también se obtienen algunos hidrocarburos aromáticos como benceno, tolueno, xileno, fenol, etc. El complejo petroquímico La Cangrejera, ubicado en Coatzacoalcos, Veracruz, cuenta con un «tren» de aromáticos en el que se produce xileno, cumeno, tolueno y benceno.

#### [Ilustración 4.2]

El benceno puede considerarse como radical llamado fenil o fenilo

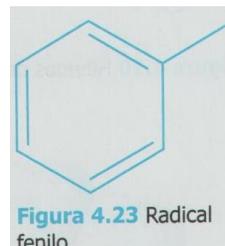


Figura 4.23 Radical fenilo.

[Figura 4.23]: la UIQPA acepta las abreviaciones ph o  $\phi$  para dicho radical.

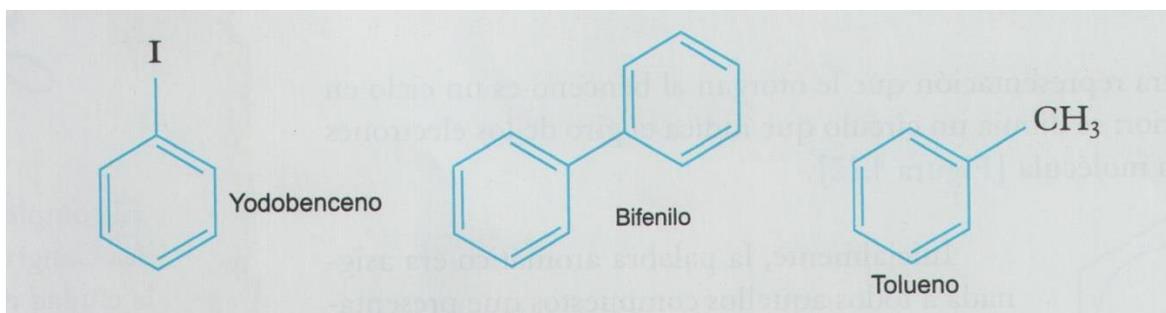
### Nomenclaturas de los hidrocarburos aromáticos

La nomenclatura de los compuestos aromáticos se clasifica de acuerdo con los sustituyentes; pueden ser monosustituidos (un sustituyente), disustituido (dos sustituyentes) y polisustituidos (más de tres sustituyentes).

#### Hidrocarburos monosustituidos

Este tipo de estructura bencénica presenta un solo sustituyente ya sea alquilo, halógenos o cualquier otro radical que no sea aromático; se nombra anteponiendo el nombre del radical seguido de la palabra benceno. En este caso no se coloca el número del sustituyente porque sólo presenta un radical.

Analiza el nombre de los siguientes compuestos:



#### Algunos hidrocarburos monosustituidos de interés

**Tolueno.** También llamado metilbenceno, compuesto que fue aislado por primera vez del árbol Myroxylon balsamum. Dicho compuesto se utiliza como materia prima para la formación de ácido benzoico, benceno, etc.

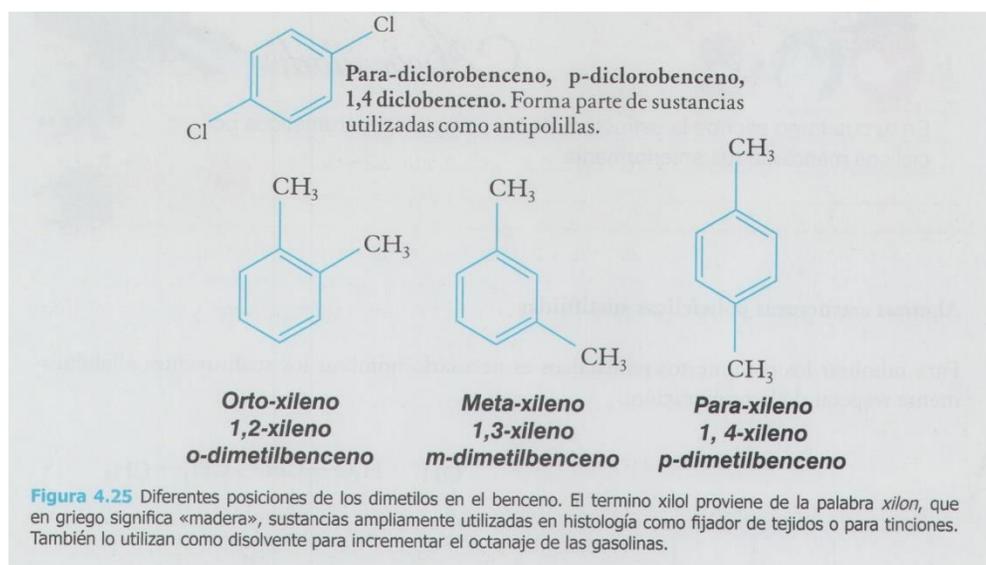
**Clorobenceno.** Es un líquido flamable; se emplea como materia prima para la obtención de insecticidas y algunos colorantes.

## Hidrocarburos disustituídos

Para nombrar a los hidrocarburos disustituídos es necesario utilizar los prefijos orto - (o), meta - (m) y para - (p). Un benceno que presenta una disustitución en orto se refiere a las posiciones 1,2 en el anillo aromático; cuando se encuentra en posiciones 1,3 están localizados en meta y 1,4 representan a para. Observa la **[Figura 4.24]**; donde X es cualquier sustituyente del carbono 1.

Para la ubicación de orto, meta y para se toma como referencia el carbono, que posee el átomo X.

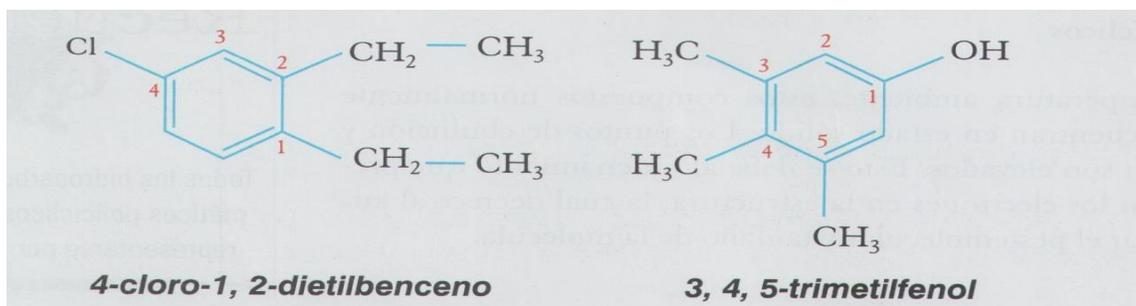
En la **[Figura 4.25]**: se muestran algunos ejemplos de estructuras aromáticas distituidas.



## Hidrocarburos polisustituídos

Los compuestos polisustituídos presentan en el anillo aromático tres o más radicales. Para nombrarlos es necesario localizar al carbono 1; y el resto de los sustituyentes serán enumerados de acuerdo al más cercano a él.

Observa los siguientes ejemplos:

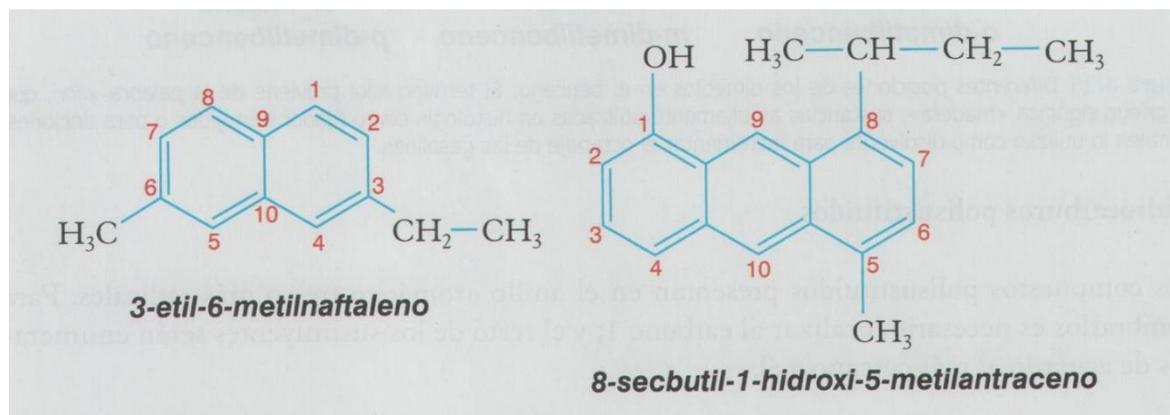


Existen compuestos aromáticos policíclicos que presentan las cualidades de aromaticidad igual que el benceno, como el **naftaleno**, compuesto formado por dos anillos semejantes al benceno pero fusionados entre sí; el **antraceno** y **fenantreno** presentan tres anillos unidos; el **benzo [α] pireno**, con cinco anillos, y finalmente el **coroneno**, con seis anillos aromáticos.

Los compuestos antes mencionados se pueden formar en la combustión de otros, como es el caso del naftaleno, también llamado naftalina; el benzo [α] pireno y el fenantreno se producen por la quema del tabaco y la madera, son considerados como cancerígenos; el antraceno es utilizado para la elaboración de colorantes.

### Algunas estructuras policíclicas sustituidas

Para nombrar los compuestos policíclicos es necesario nombrar las sustituyentes alfabéticamente respetando la numeración.

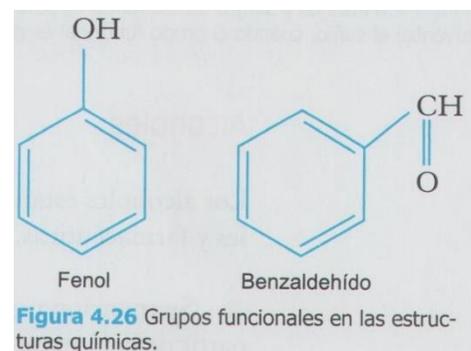


### Propiedades físicas de los hidrocarburos aromáticos policíclicos

A temperatura ambiente, estos compuestos normalmente se encuentran en estado sólido. Los puntos de ebullición y fusión son elevados. Esto se debe al ordenamiento que presentan los electrones en la estructura, la cual decrece al aumentar el peso molecular y tamaño de la molécula.

### Grupos funcionales

La base de la química orgánica se da en los hidrocarburos. En el tema anterior te habrás dado cuenta de que existen estructuras químicas que están unidas a los anillos aromáticos, que les confieren propiedades distintas. A estas estructuras se les conocen como **grupos funcionales**, llamados así porque son la porción de reactividad química. Observa la **[Figura 4.26]**, que muestra un ejemplo.



**Figura 4.26** Grupos funcionales en las estructuras químicas.

Habrás notado que ambas estructuras presentan el anillo bencénico, pero los sustituyentes son distintos. El fenol es un compuesto que tiene como radical un hidroxilo (-OH); se utiliza para la elaboración de desinfectantes, materia prima para fabricar nailon. Su p.f es 43 °C y p.eb. 182 °C; el benzaldehído es un compuesto, donde el sustituyente es un grupo aldehído (-CHO); es un componente primario de la extracción del aceite de almendras. Se utiliza como saborizante en alimentos; su p.eb. es -26 °C y p.f. es 178 °C.

El grupo funcional es el que determina las propiedades de la molécula y de sus derivados. [Tabla 4.6].

Compuesto	Grupo funcional	Prefijo	Sufijo
Alcoholes	$R - OH$	Hidroxi	-ol
Fenoles	$Ar - OH$	Hidroxi	-ol
Éteres	$R - O - R$	Alquiloxi	-Éter
Aldehídos	$R - \overset{\text{CH}}{\underset{\text{O}}{\parallel}}$	Formilo	-Carboxaldehído
Cetonas	$R - \overset{\text{C}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - R$	Oxo	-Ona
Ácidos carboxílicos	$R - \overset{\text{C}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - OH$	Carboxi	-Ácido carboxílico
-Ésteres	$R - \overset{\text{C}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - O - R$	Alquilcetoxi	-Alquilcarboxilato
Amidas	$R - \overset{\text{C}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - NH_2$	Carbanilo	-Carboxamida
Aminas	$R - NH_2$	Amino	Aminas
Halogenuros de alquilo	$R - X$	Halo	Haluro
Haluro de ácido	$R - \overset{\text{C}}{\underset{\text{O}}{\parallel}} - X$	Halocarbonilo	-Haluro de carbonilo

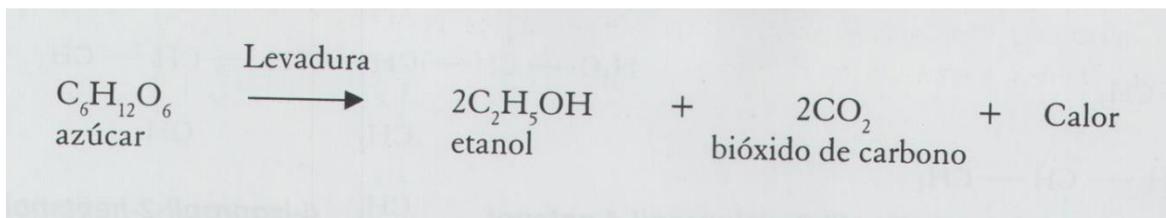
**Tabla 4.6** Prefijos y sufijos de los nombres para grupos funcionales. El prefijo es utilizado cuando el grupo funcional se encuentra como sustituyente; el sufijo, cuando el grupo funcional es parte del compuesto principal.

## Alcoholes

Los alcoholes están ampliamente distribuidos en la naturaleza; tienen aplicaciones industriales y farmacéuticas.

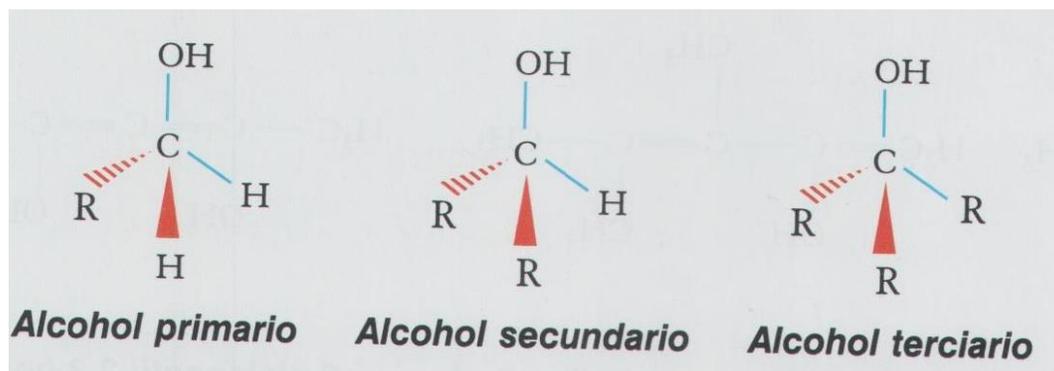
Se menciona que las bebidas alcohólicas tienen más de 10 000 años; eran elaboradas a partir de la fermentación de las uvas y la savia del maguey. Los

catalizadores de dicha reacción son las levaduras o la enzima. Observa la siguiente reacción:



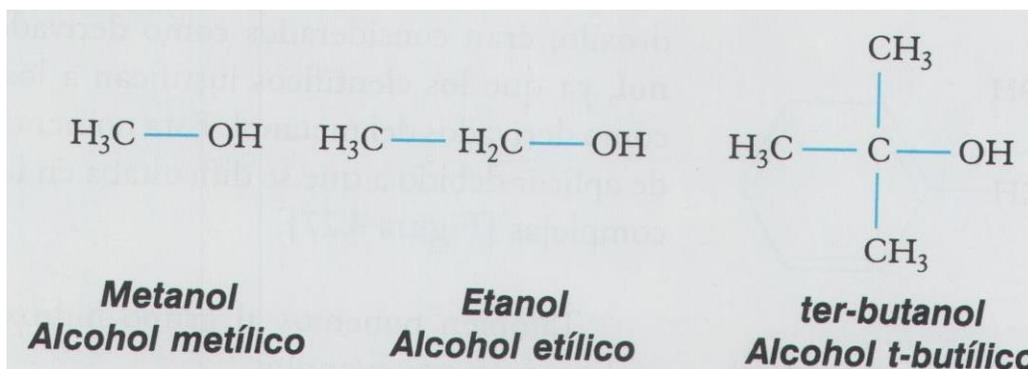
El grupo funcional de los alcoholes y fenoles es el grupo hidroxilo (-OH). Este radical se une a un hidrocarburo saturado o insaturado; además puede ser alifático (R-OH) o aromático (Ar-OH) cuando se trate de fenoles.

Los alcoholes se clasifican en primarios, secundarios y terciarios; esto dependerá de las sustituciones del carbono que interviene directamente al hidroxilo. Observa lo siguiente:



### Nomenclatura de los alcoholes

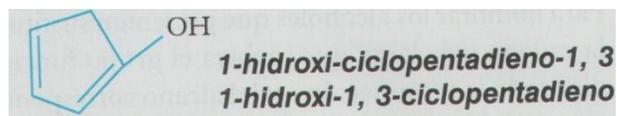
Los nombres de los alcoholes sencillos (primarios) se denominarán con la raíz del alcano y la terminación —ol; la UIQPA también admite anteponer la palabra alcohol seguida del radical alcano con la terminación ílico.



- Para nombrar los alcoholes que presenten sustituciones, primeramente se deberá localizar la cadena más larga que incluya el grupo funcional y derive

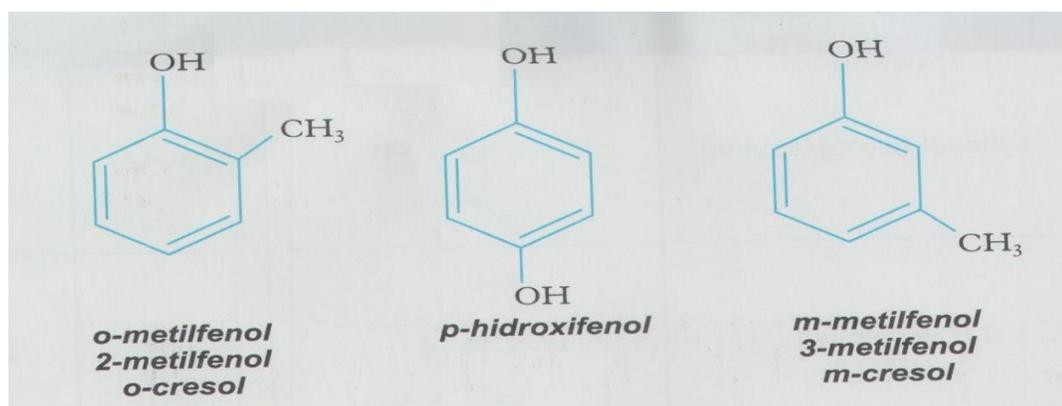


También ponemos al grupo hidroxilo como un sustituyente, por ejemplo:



## Fenoles

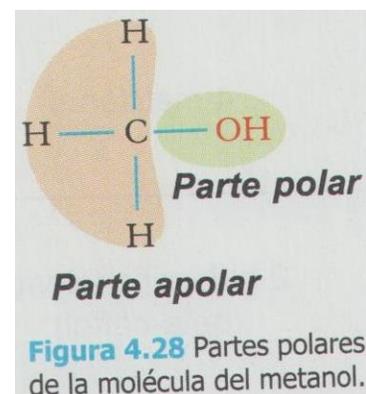
Estos compuestos son considerados como alcoholes aromáticos debido a que el grupo hidroxilo está unido a un hidrocarburo aromático; presentan la fórmula general Ar-OH (Ar es el radical fenilo). Dichos compuestos se nombran de acuerdo con la nomenclatura de los aromáticos. Observa los siguientes ejemplos:



## Propiedades físicas de los alcoholes

La estructura de los alcoholes está compuesta por una parte apolar (arilos) y la otra polar. Esta última se debe al grupo hidroxilo; las propiedades de los alcoholes se deben al número de grupos hidroxilos y al tamaño de la porción no apolar de la molécula. **[Figura 4.28].**

Los alcoholes arílicos o aromáticos presentan la misma geometría del agua es decir, el ángulo de enlace R-O-H en el caso del metanol presenta un ángulo de  $109^\circ$ , y el átomo de oxígeno tiene hibridaciones  $sp^3$ . Estos tipos de compuestos presentan puntos de ebullición altos. Esto se debe a los puentes de hidrógeno que pueden presentar debido a la alta electronegatividad que tiene el átomo de oxígeno que interactúa con el hidrógeno de otra molécula, ya que el rompimiento de éstas necesita de mucha energía, por eso los alcoholes son miscibles en agua por la interacción de los puentes de hidrógeno que pueden hacer. **[Tabla 4.7].**



Nombre UIQPA	Nombre común	Estructura	p. f. °C	p. eb.°C
Propanol	Alcohol n-propílico	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$	-126	97
Isopropanol	Alcohol isopropílico	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$	-89	82
1, 2-propanodiol	Propilenglicol	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\   \quad   \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$		187
Ciclohexanol	Ciclohexanol		24	161.5

Tabla 4.7 Alcoholes y fenoles comercialmente importantes.

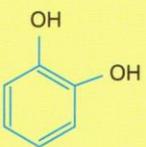
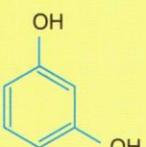
Nombre UIQPA	Nombre común	Estructura	p. f. °C	p. eb.°C
Orto-dihidroxibenceno	Catecol (pirocatequina)		104	246
Meta-dihidroxibenceno (1,3-dihidroxibenceno)	Resorcinol		110	280
4-metilfenol	Para-cresol		35	202
2-hidroxinaftaleno (beta-naftol)	2-naftol		122	295

Tabla 4.7 Alcoholes y fenoles comercialmente importantes (continuación).

### Algunos alcoholes de importancia

Los alcoholes arílicos y aromáticos son considerados de mucha importancia, ya que de ellos se pueden obtener compuestos como alquenos, halogenuros de alquilo, éteres, aldehídos, etc. A continuación se mencionan algunos de los alcoholes de mayor importancia comercial.

**Alcohol etílico.** Se obtiene a partir de las fermentaciones de las frutas o vegetales debido a la presencia del azúcar. Dicha sustancia se utiliza como disolvente en la formulación de productos farmacéuticos, como desinfectante, en la elaboración de productos alimenticios, cosméticos y en la actualidad como combustible.

La industria azucarera y alcoholera en México tienen una larga tradición histórica y ha llegado a constituirse como una de las agroindustrias más importantes del país. Actualmente se cultivan aproximadamente 650 mil hectáreas de caña de azúcar. Uno de los principales usos industriales del azúcar es la producción de alcohol etílico. Las cifras anuales de producción superan los 50 millones de litros de alcohol de 96° GL, con rendimientos hasta de 250 lts. de alcohol / ton. de melaza.

**Glicerol.** Es un polialcohol; el nombre UIQPA es 1, 2, 3-propanotriol. El organismo lo produce de forma natural en la degradación digestiva de las grasas antes de que entre al ciclo de Krebs. Este polialcohol se emplea en la elaboración de cosméticos como jabones [Ilustración 4.3]; también se utiliza en la fabricación de medicamentos como jarabes, líquidos antisépticos, productos laxantes, etcétera.



**Ilustración 4.3** El glicerol es ampliamente utilizado en la elaboración de cremas ya que le proporciona a la piel humectación y por ende suavidad.



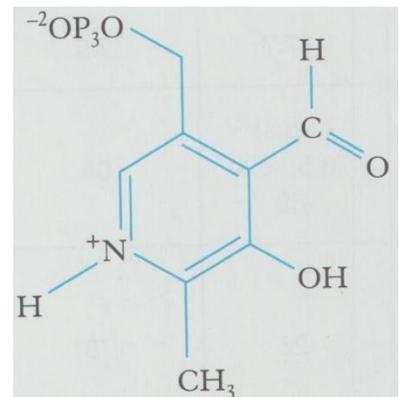
**Ilustración 4.4** La industria alimenticia utiliza el mentol para enmascarar sabores desagradables

**Mentol.** Alcohol secundario; su nombre UIQPA es 5-metil-2-isopropil ciclohexa-1-ol. Es un sólido aislado de la planta menta (*Menta arvensis*). Este compuesto presenta propiedades bactericidas y antisépticas. Es ampliamente utilizado para la elaboración de ungüentos (Ben-Gay) enjuagues bucales, perfumes, etc. [Ilustración 4.4]

## Aldehídos

Son compuestos ampliamente localizados en la naturaleza, como es el caso del aldehído fosfato de piridoxal, coenzima ubicada en las reacciones metabólicas del organismo. [Figura 4.29].

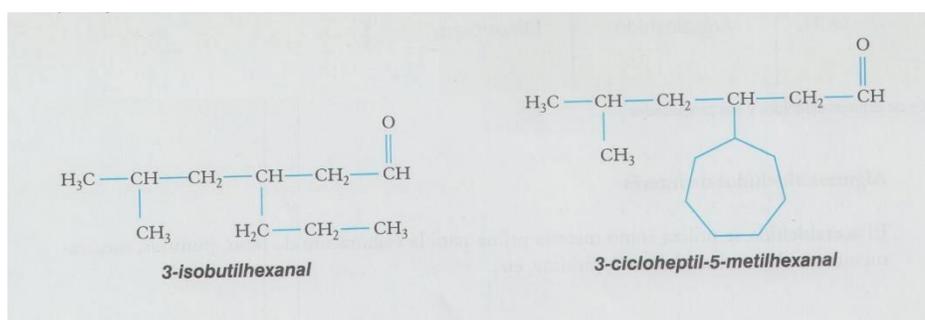
Los aldehídos son sustancias mayormente elaboradas en los Estados Unidos, ya que anualmente alcanza 1.9 millones de toneladas de formaldehído (metanal) para la elaboración de materiales aislantes en las construcciones y resinas para unir tablas de conglomerados.



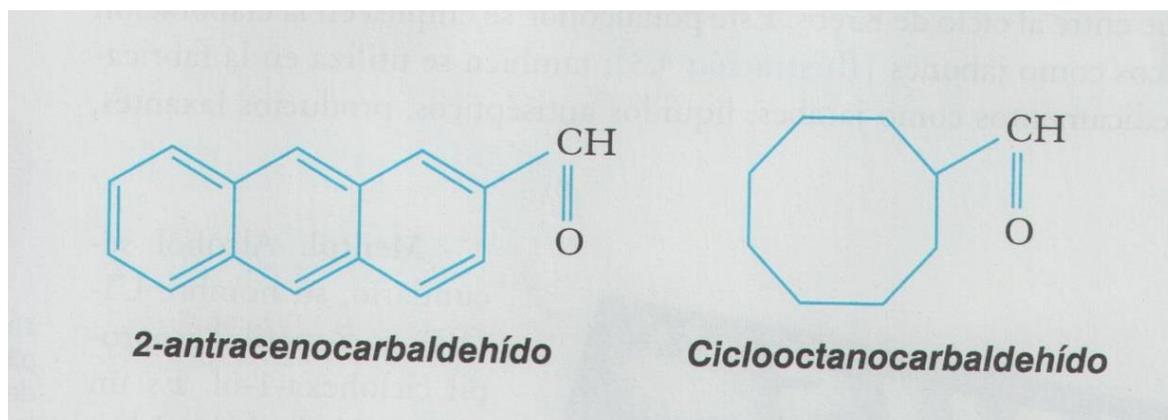
**Figura 4.29** Las coenzimas son estructuras químicas que transportan otras sustancias para que se activen las enzimas.

## Nomenclatura de los aldehídos

Para nombrar los aldehídos se localiza la cadena más larga que contenga el grupo aldehído (-CHO); posteriormente, en el nombre de la cadena del alcano se reemplazará la terminación -o por al; el carbono del grupo funcional se tomará como 1; los sustituyentes de la cadena se nombrarán de manera habitual. Analiza los siguientes ejemplos:



Cuando el grupo aldehído se encuentra unido a un ciclo, la UIQPA establece que se escriben los sustituyentes, posteriormente la cadena y por último el sufijo carbaldehído. Ejemplos:



## Propiedades de los aldehídos

Los puntos de ebullición de los aldehídos son altos y la solubilidad con el agua se debe a la electronegatividad del oxígeno presente en el grupo carbonilo de la molécula. Esto se debe a la formación de dipolos en el grupo funcional. **[Tabla 4.8].**

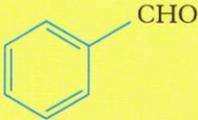
Fórmula	Nombre común	Nombre UIQPA	p. f. °C	p. eb. °C
HCHO	Formaldehído	Metanal	-92	-21
CH <sub>3</sub> -CHO	Acetaldehído	Etanal	-121	20
H <sub>2</sub> C=CH-CHO	Acroleína	Propenal	-87.7	52.5
CH <sub>3</sub> -CH=CH-CHO	Crotonaldehído	2-butenal	(trans) -76.5; (cis) -69	104
	Benzaldehído	Bencenocarbaldehído	-26	178
	Anisaldehído	Metoxibenzaldehído	-1	248

Tabla 4.8 Ejemplos de algunos aldehídos y sus propiedades.

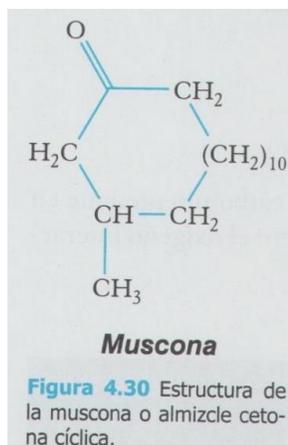
### Algunos aldehídos de interés

El **acetaldehído** se utiliza como materia prima para la elaboración de lacas, pinturas, medicamentos, ácido etanoico, butanol, piridina, etc.

El **benzaldehído** se utiliza como materia prima en la síntesis de compuestos orgánicos que van desde fármacos hasta plásticos; se usa en la industria de los alimentos para dar el sabor a almendras.

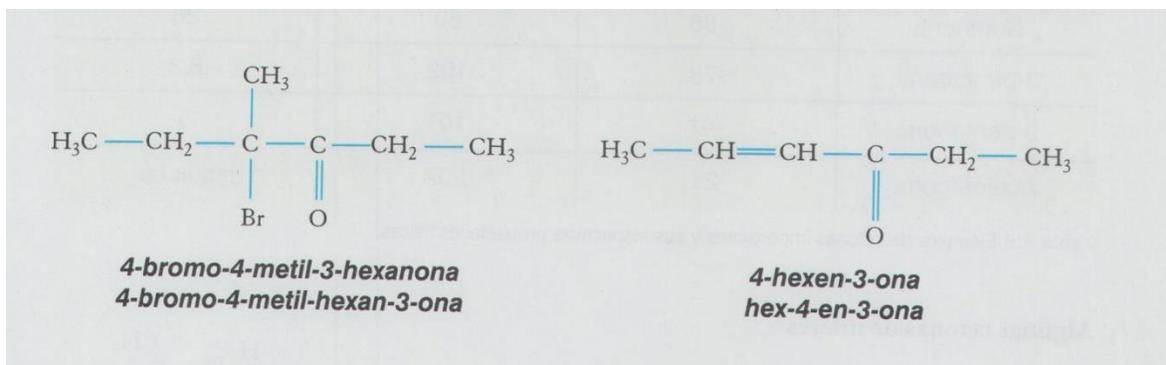
### Cetonas

Al compuesto más común del grupo de las cetonas se le conoce o como **acetona**, ampliamente utilizada como disolvente, sin embargo, podemos encontrar cetonas naturales como es el caso de algunos carbohidratos como la **fructosa**; existe otro compuesto aislado de las feromonas del ciervo almizclero, llamada muscona o almizcle cetona cíclica. [Figura 4.30]. Por su poder de adherirse, es ampliamente utilizado como fijador en la industria de la perfumería.

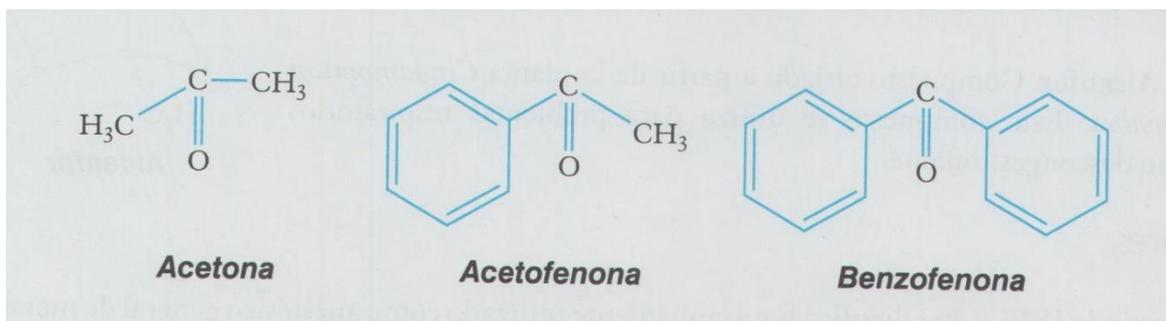


### Nomenclatura de las cetonas

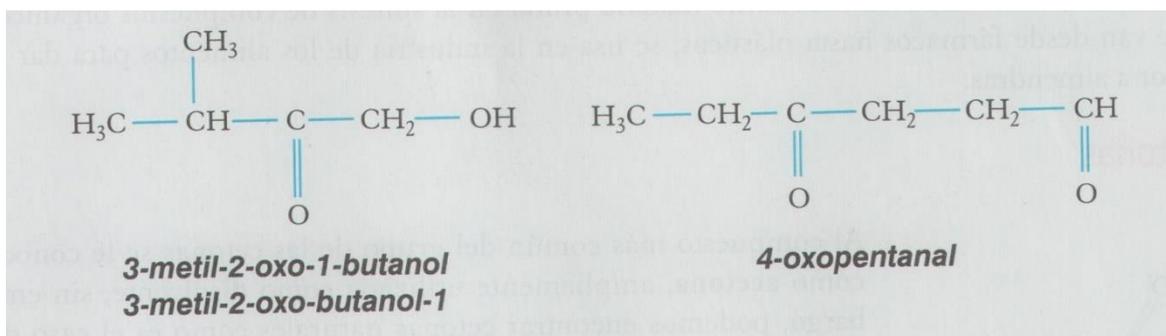
Las cetonas se nombran sustituyendo la terminación -o del nombre del alcano por el sufijo -ona; la cadena más larga es la que tiene el grupo carbonilo, y la numeración se inicia en el extremo más cercano al carbono del carbonilo. Observa los siguientes ejemplos:



La UIQPA permite en algunos casos los nombres comunes, por ejemplo:



Cuando en una estructura química se presentan otros sustituyentes importantes además del carbonilo de la cetona, esta estructura se puede nombrar de acuerdo con esos grupos sustituyentes, y el grupo cetónico será nombrado como radical -oxo. Observa los siguientes ejemplos:



### Propiedades físicas de las cetonas

La polaridad de las cetonas, al igual que los aldehídos, se debe al grupo carbonilo presente en la molécula; no tienen la capacidad de formar puentes de hidrógenos pero el oxígeno interactúa con el carbono de otra molécula. **[Tabla 4.9].**

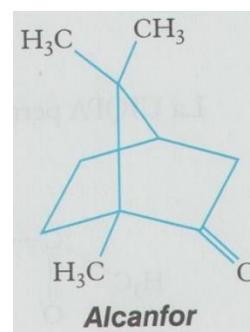
Nombre	p. f. °C	p. eb. °C	Solubilidad (gr/100 gr de H <sub>2</sub> O)
Propanona	-94	56	Soluble al infinito
Butanona	-86	80	26
2-pentanona	-78	102	6,3
3 pentanona	-41	101	5
Acetofenona	21	202	Insoluble

**Tabla 4.9** Ejemplos de cetonas importantes y sus respectivas propiedades físicas.

### Algunas cetonas de interés

**Testosterona.** Hormona sexual masculina que se forma en los testículos; tiene un papel importante en el desarrollo de los tejidos de los testículos. Además fomenta el desarrollo de la masa muscular.

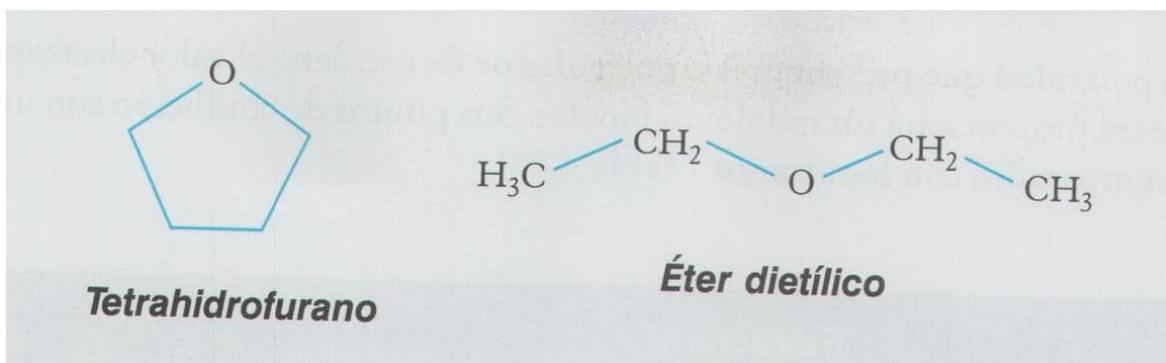
**Alcanfor.** Compuesto aislado a partir de la planta *Cinnamomum camphora*. Este compuesto se utiliza para problemas respiratorios como descongestionante.



### Éteres

A partir de 1846 el éter dietílico fue ampliamente utilizado como anestésico general de manera inhalatoria. En la actualidad se utiliza como saborizante artificial, refrigerante, disolvente de grasas. Es muy utilizado en la extracción de principios activos de tejidos de plantas y animales debido a que es fácilmente eliminado.

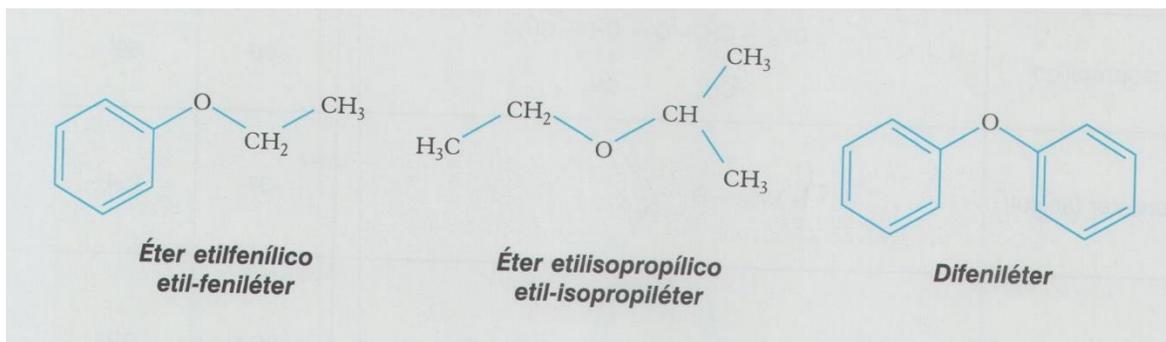
Otro éter muy utilizado en síntesis orgánica es el tetrahidrofurano; se aplica como materia prima en la elaboración de envases para alimentos.



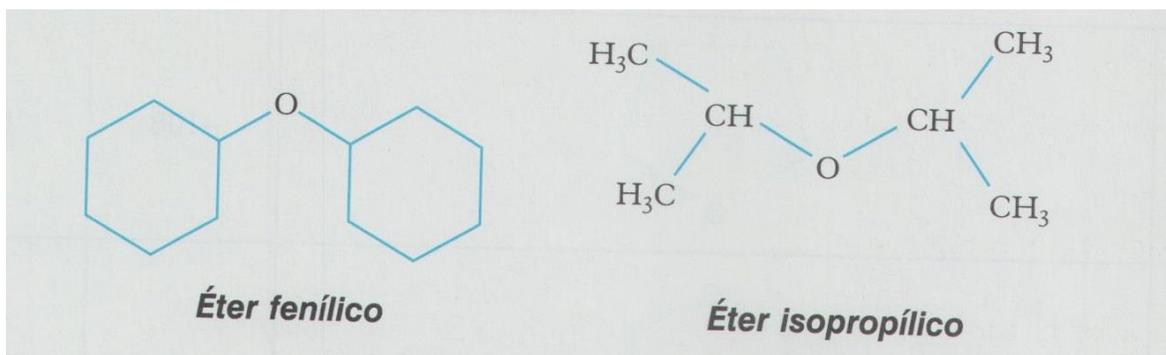
### Nomenclatura de los éteres

Los éteres sencillos, sin la presencia de otros grupos funcionales, se nombran localizando los sustituyentes, anteponiendo el término éter. También puede ser

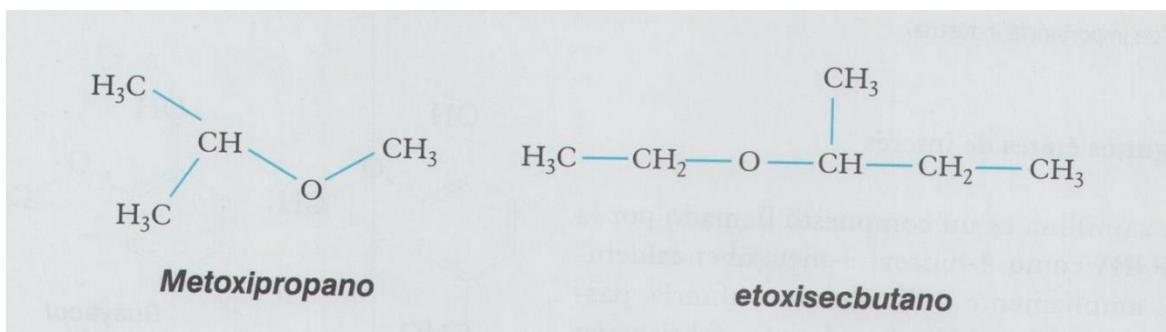
indicando los radicales arilos seguido de la palabra éter. Observa los siguientes ejemplos:



Cuando los sustituyentes unidos al oxígeno son idénticos se elimina el prefijo numeral, por ejemplo:



Existe otra forma de nombrar a los éteres utilizando la palabra alcoxi; usualmente se aplica cuando en la estructura se obtienen dos sustituyentes; en esta nomenclatura se añade el sufijo oxi a la raíz del nombre del alquilo; ejemplo:



## Propiedades de los éteres

Los enlaces de la molécula de los éteres R-OR tienen un ángulo de  $112^\circ$ ; si se toma como ejemplo al éter metílico, el átomo de oxígeno presenta hibridación  $sp^3$ .

La poca polaridad que presentan las moléculas de éter se debe al valor electronegativo del oxígeno; éste les proporciona un momento bipolar. Sus puntos de ebullición son un poco más altos si son comparados con los alcanos. [Tabla

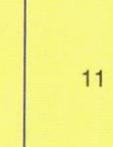
Nombre UIQPA	Estructura	p. f. °C	p. eb. °C
Éter metílico	$\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$	-142	-25
Éter etílico	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$	-116	35
Éter propílico	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_2 - \text{O} - (\text{CH}_2)_2 - \text{CH}_3$	-122	91
Éter isopropílico	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{O} - \text{CH} - \text{CH}_3 \\    \qquad \qquad   \\  \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3  \end{array}  $	-60	69
Metil feniléter (anisol)	$\text{CH}_3 - \text{O} - $ 	-37	154
Furano		-85.6	32
Tetrahidrofurano		-108	66
Dioxano		11	101

Tabla 4.10 Algunos éteres de importancia industrial.

4.10].

## Algunos éteres de interés

La vainillina es un compuesto llamado por la UIQPA como 4-hidroxi-3-metoxibenzaldehído; ampliamente utilizado en confitería, pastelería, perfumería, chocolatería, fabricación de licores finos, farmacología y artesanía. El guayacol es

un fármaco broncodilatador que se utiliza en productos farmacéuticos. [Figura 4.31].

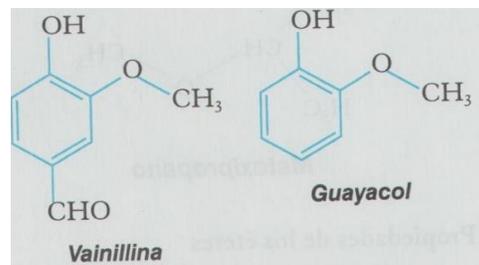


Figura 4.31 La vainillina es obtenida a partir de las vainas de la orquídea *Vanilla planifolia*. El guayacol se presenta en ampollitas como descongestionante.

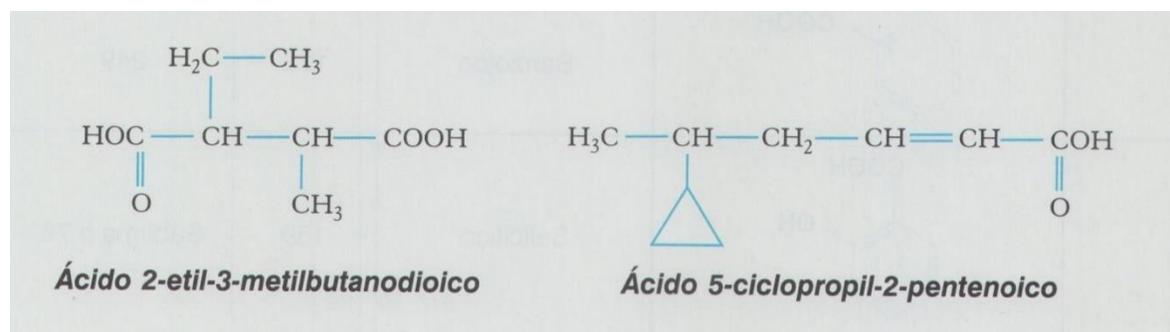
## Ácidos carboxílicos

En la naturaleza se localizan varios ácidos carboxílicos nombrados de acuerdo con su fuente de obtención natural. Así, tenemos al ácido fórmico, aislado de las hormigas (del latín *formica*, hormiga); al acético (del latín *acetum*, vinagre); al propiónico (del griego *propios*, primero), por ser el primero de la serie con aspecto aceitoso; al butírico (del latín *butyrum*, mantequilla); al caproico, caprílico y cáprico (del latín *caper*, cabra), al encontrarlos en la grasa de las cabras; al esteárico (del griego *stear*, sebo).

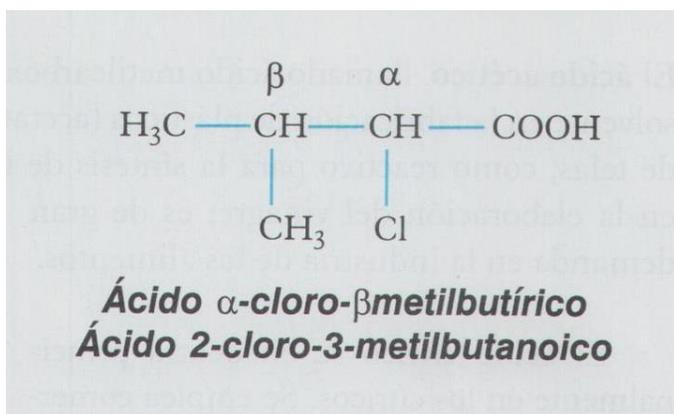
Otros compuestos carboxílicos naturales son el ácido eólico, componente principal de la bilis humana, y los ácidos alifáticos como el ácido palmítico,  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ , considerado como precedente de las grasas y los aceites vegetales.

## Nomenclatura de los ácidos carboxílicos

El nombre de la UIQPA para estos ácidos reemplaza la letra -o final del nombre del alcano correspondiente por la terminación -oico, anteponiendo la palabra ácido. Los sustituyentes se enumeran de forma usual, y el carbono del grupo carboxi ( $-\text{CO}_2\text{H}$ ) siempre será el número 1. Por ejemplo:



La UIQPA permite el uso de letras griegas; el carbono del ácido carboxílico no cuenta y se inicia con el carbono vecino al carboxilo. Se deberá de utilizar el nombre común. Por ejemplo:



### Propiedades físicas de los ácidos carboxílicos

El carbono del grupo carboxilo presenta hibridaciones  $sp^2$ , por lo tanto, los grupos de los ácidos carboxílicos son estructuras planas, con ángulos de enlace del C-C=O y del O=C-O, aproximadamente de  $120^\circ$ .

Las moléculas de los ácidos carboxílicos forman puentes de hidrógeno. Debido a esta característica, estas sustancias presentan puntos de ebullición superiores. [Tabla 4.11].

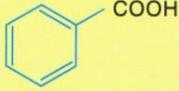
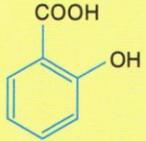
Nombre	Fórmula	Nombre común	p. f. °C	p. eb. °C
Metanoico	HCOOH	Fórmico	8	101
Eetanoico	CH <sub>3</sub> — COOH	Acético	16	118
Propanoico	CH <sub>3</sub> — CH <sub>2</sub> — COOH	Propiónico	-21	142
Butanoico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> — COOH	Butírico	-5	164
Pentanoico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> — COOH	Valerianoico	-35	186
Hexanoico	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> — COOH	Caproico	-3	205
2-Hidroxipropanoico	$  \begin{array}{c}  \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{COOH} \\    \\  \text{OH}  \end{array}  $	Láctico	17	122
Metanodioico	HOOC — COOH	Oxálico	180	Sublima a 150
Propanodioico	HOOC — CH <sub>2</sub> — COOH	Malónico	135	Descompone
Benzoico		Benzoico	122	249
Salicílico		Salicílico	159	Sublima a 76

Tabla 4.11 Ejemplos de ácidos carboxílicos.

## Algunos ácidos carboxílicos de interés

El **ácido acético**, llamado ácido metilcarboxílico, se utiliza como disolvente en la fabricación de plásticos (acetato de vinilo), en el teñido de telas, como reactivo para la síntesis de infinidad de derivados y en la elaboración del vinagre; es de gran demanda en la industria de los alimentos.

El **ácido cítrico** se encuentra principalmente en los cítricos. Se emplea comercialmente en grandes cantidades como acidificante de alimentos (bebidas); tiene una excelente actividad antioxidante («atrapador» de radicales libres) y cicatrizante de heridas. [Figura 4.32].

El **ácido gálico**, que se localiza también en los vegetales, es el precursor en la síntesis del alcaloide mescalina. [Figura 4.33].

El **ácido acetilsalicílico**, (ácido 2- (acetiloxi)-benzoico) fue aislado del árbol llamado sauco blanco (*Smilax alba*). También se obtiene por síntesis orgánica. Tiene gran demanda en la industria farmacéutica para la elaboración de la aspirina. [Figura 4.34].

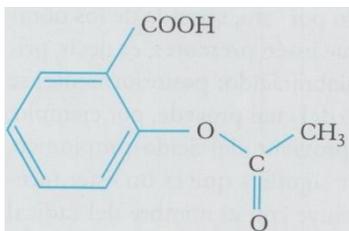


Figura 4.34 La aspirina es ampliamente utilizada para bajar la fiebre, como analgésico, antiinflamatorio, etc.

El **ácido oxálico** se ha aislado de las espinacas y del ruibarbo. Se utiliza en la industria de la construcción y en el aseo del hogar para pulir los pisos de mármol. Se emplea para blanquear el cuero y eliminar las manchas de la remoción del hierro (sarro). [Figura 4.35].

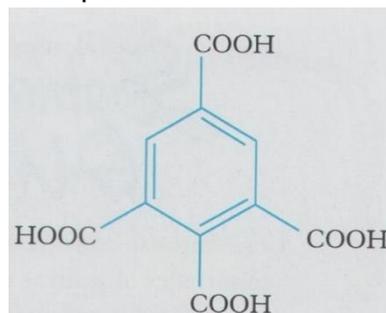


Figura 4.33 El ácido gálico conocido como ácido 3,4,5-trihidroxi benzoico.

El **ácido butanodioico o succínico** se emplea en la fabricación de lacas, barnices y medicinas. [Figura 4.36].

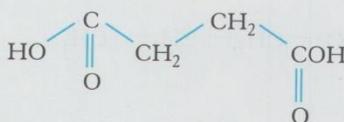


Figura 4.36 El ácido succínico también llamado ácido etano-1,2-dicarboxílico.

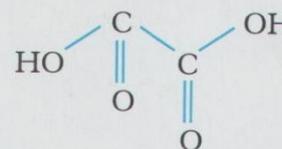


Figura 4.35 El ácido oxálico, llamado ácido etano-dioico.

## Ésteres

Los ésteres son considerados como derivados de los ácidos carboxílicos. Son compuestos responsables de los aromas de los frutos y flores, así como de los saborizantes artificiales para la elaboración de pasteles, caramelos, helados, etc. [Ilustración 4.5].

Los aceites vegetales, como el de las semillas de algodón, maíz, cacahuate, girasol, cártamo, etc., y las grasas de cerdos,



Ilustración 4.5 La cera de abeja está formada principalmente por ésteres de tipo  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{28} - \text{COO} - (\text{CH}_2)_{27}\text{CH}_3$ .



Nombre del éster	Esencia	p. eb. °C	p. f. °C
Acetato de isoamilo	Plátano, pera	142	-79
Formiato de etilo	Melocotón	-80	54
Acetato de octilo	Naranja	-80	199
Heptanoato de etilo	Coñac	-66	189
Acetato de bencilo	Jazmín	-51	212

Tabla 4.12 Ejemplos de ésteres y sus propiedades físicas.

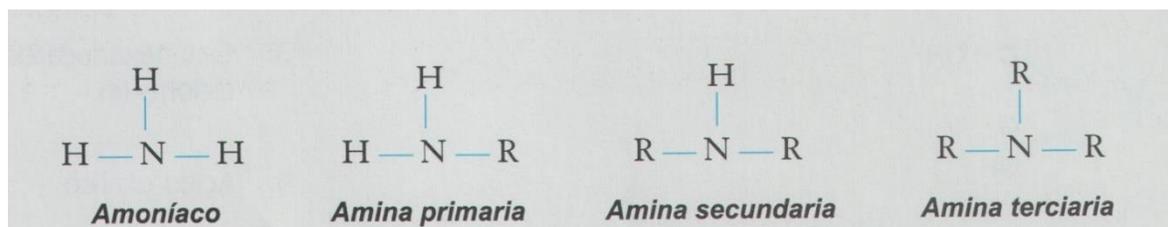
### Algunos ésteres de interés

**Ftalato de dibutilo.** Se utiliza como plastificante; los ftalatos se utilizan como aditivos en algunos plásticos, principalmente con el cloruro de polivinilo (CPV) con la finalidad de incrementar su elasticidad (evitar que sean quebradizos). Sin embargo, al no estar muy ligados a la base, logran abandonar la materia y provocan daño a la salud y al ambiente, aunque existen investigaciones que comprueban que no presentan alteraciones al organismo.

### Aminas

Las aminas se encuentran ampliamente distribuidas en los organismos vivos, como la **trimetilamina** localizada en los tejidos de los animales; la nicotina aislada del tabaco; aminoácidos, son las partes estructurales a partir de los cuales se preparan todas las proteínas, y las bases aminas cíclicas son componentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN).

Las aminas se consideran derivados del amoniaco; se clasifican de acuerdo con el número de sustituyentes orgánicos unidos al nitrógeno; pueden ser **primarias (RNH<sub>2</sub>)**, **secundarias (R<sub>2</sub>NH)** o **terciarias (R<sub>3</sub>N)**. Las aminas pueden ser aquilaminas (sustituyentes alquilo) o arilaminas (sustituyentes arilos).

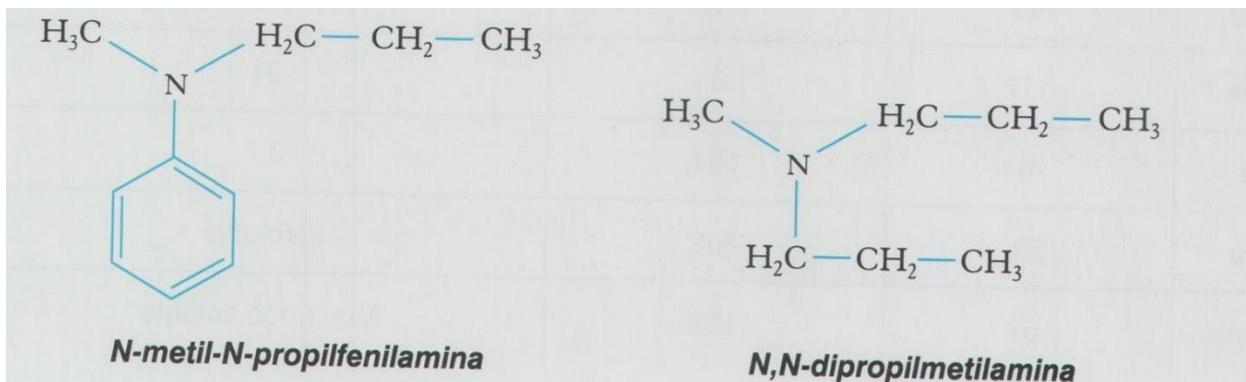


### Nomenclatura de las aminas.

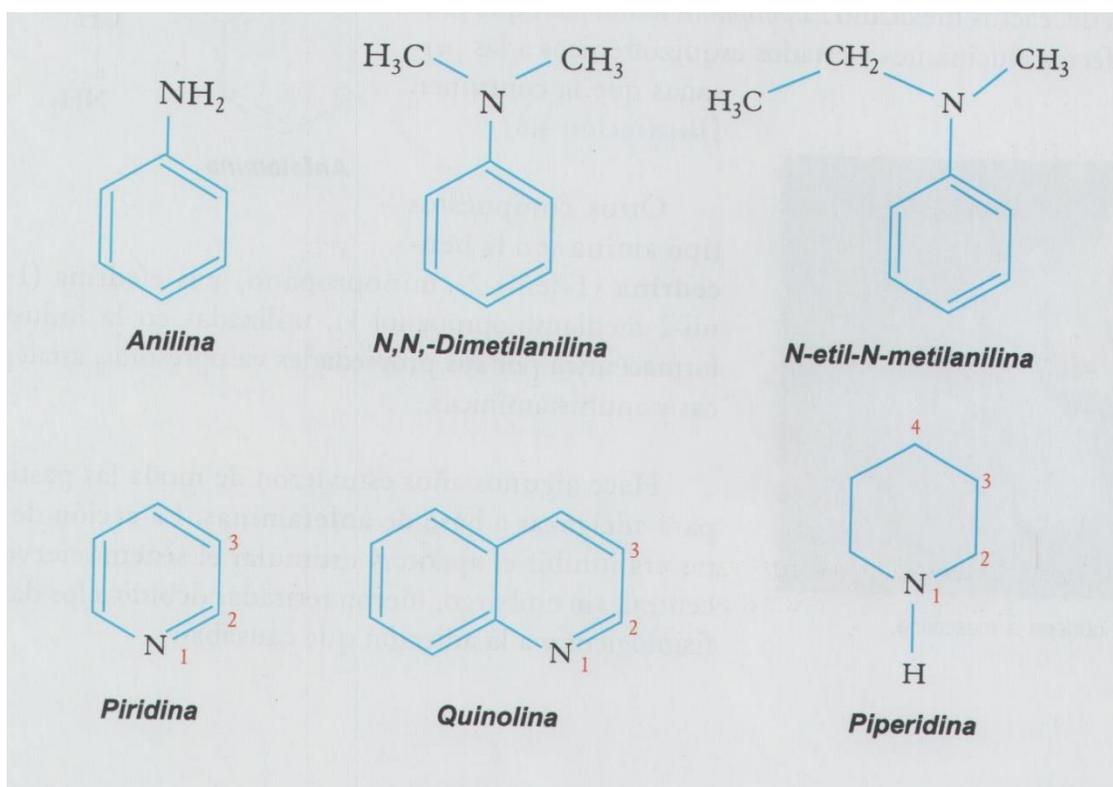
Las aminas primarias se pueden nombrar de varias maneras. Para las primarias se adiciona el sufijo amina al nombre del sustituyente alquilo.



Las aminas secundarias y terciarias con sustituyentes asimétricos se nombran como las aminas primarias N-sustituidas, localizando el grupo alquilo más largo como el nombre principal, y los otros grupos alquilos son los N-sustituyentes; la letra N indica que está unido al átomo de nitrógeno.



**Aminas aromáticas.** El compuesto representativo es la anilina. La UIQPA permite que lo utilicen como estructura de base; las aminas heterocíclicas son compuestos en los que el nitrógeno sustituye a un carbono (heteroátomo); el nitrógeno heterocíclico adopta la posición 1. Observa los ejemplos:



## Propiedades físicas de las aminas

El átomo de nitrógeno tiene hibridación  $sp^3$  con los tres sustituyentes ocupando tres vértices de un tetraédro, y el par de electrones no enlazado ocupa el cuarto vértice.

Las aminas primarias y secundarias son compuestos polares, capaces de formar puentes de hidrógeno entre sí además del agua; esto las hace solubles en ella. La solubilidad disminuye en las moléculas con más de 6 átomos de carbono y en las que poseen el anillo aromático. [Tabla 4.13].

Nombre	p. eb. °C	p. f. °C	Solubilidad (gr/100 gr de H <sub>2</sub> O)
Metil-amina	-92	-7,5	Muy soluble
Dimetil-amina	-96	7,5	Muy soluble
Trimetil-amina	-117	3	91
Fenil-amina	-6	184	3,7
Difenil-amina	53	302	Insoluble
Metilfenil-amina	-57	196	Muy poco soluble

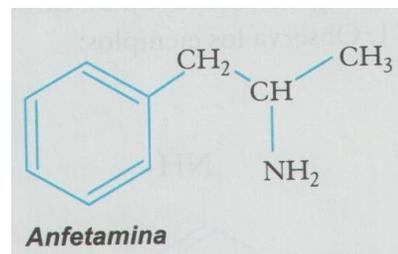
Tabla 4.13 Ejemplos de aminas y sus propiedades físicas.

## Algunas aminas de interés

La «mescalina» o **3, 4, 5 trimetoxifeniletamina** es una droga aislada del cactus mexicano *Lophophora williamsii*, que provoca efectos alucinantes y estados esquizofrénicos a las personas que la consumen. [Ilustración 4.6].



Ilustración 4.6 Del peyote se obtiene la mescalina.



Otros compuestos tipo amina son la **bencedrina** (1-fenil-2-aminopropano) y la **efedrina** (1-fenil-2-metilaminopropanol-1), utilizadas en la industria farmacéutica por sus propiedades vasopresoras, analépticas y antihistamínicas.

Hace algunos años estuvieron de moda las pastillas para adelgazar a **base de anfetaminas**. La acción de éstas era inhibir el apetito y estimular el sistema nervioso central, sin embargo, fueron retiradas debido a los daños fisiológicos y a la adicción que causaban.

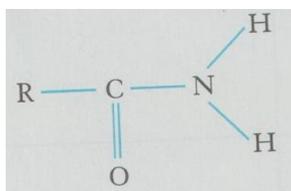
## Amidas

Las **amidas** son comunes en la naturaleza y se encuentran en sustancias como los aminoácidos, ADN, ARN, hormonas, etc. Son compuestos ampliamente utilizados en la industria farmacéutica y en la industria del nylon, por ejemplo los derivados de succinimida ampliamente utilizados como anticonvulsivos para el tratamiento de la epilepsia.

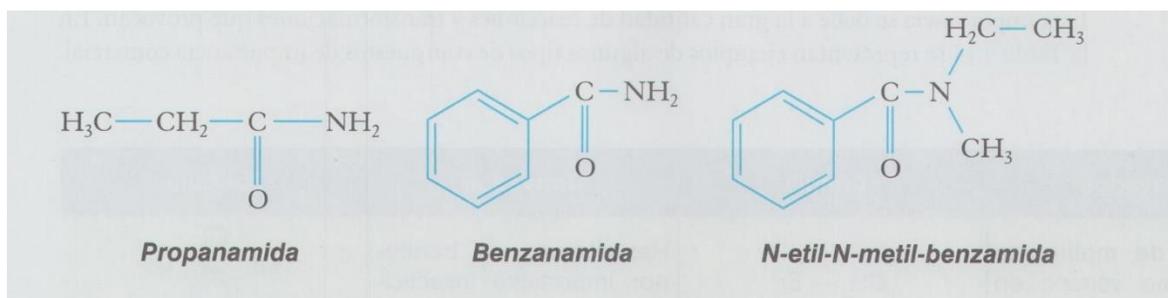
### Nomenclatura de las amidas

Las amidas son derivados de los ácidos carboxílicos. El grupo OH del ácido es sustituido por un átomo de nitrógeno; este átomo puede llevar como sustituyentes grupos alquilos (R) o arilos (Ar).

El grupo funcional de las amidas es:



Se nombran eliminando la palabra ácido y sustituyendo la terminación -oico o -ico, del ácido del que provienen, por el sufijo -amida. Ejemplo: acetamida. Al igual que las aminas, si el átomo de nitrógeno tiene sustituyentes alquilos o arilos, se nombran colocando una N mayúscula antes del sustituyente. Ejemplos:



### Propiedades físicas de las amidas

El grupo funcional de las amidas es polar, por lo tanto las amidas primarias, a excepción de la formamida, son sólidos y solubles en agua por su interacción con esta molécula. Su punto de ebullición es alto si se compara con el ácido de su procedencia. Esto se debe a la asociación intermolecular a través de enlaces de hidrógeno entre el oxígeno y los enlaces del N-H.

Los puntos de fusión y de ebullición de las amidas secundarias son bastante menores, debido principalmente al impedimento estérico del radical unido al nitrógeno para la asociación. Como es natural, las amidas terciarias (sin enlaces N—H) no pueden asociarse, por lo que son líquidos normales, con puntos de fusión y de ebullición de acuerdo con su peso molecular.

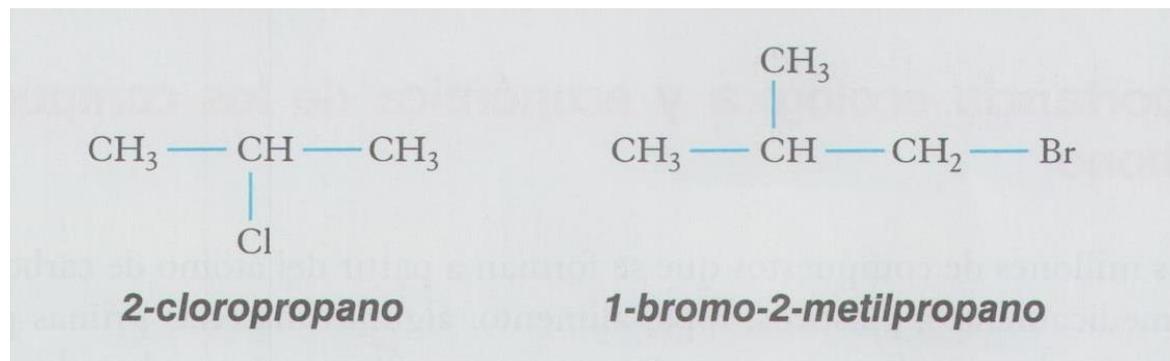
## Halogenuros de alquilo

Poseen mucha importancia, por sus aplicaciones industriales, a nivel de laboratorio o por su intervención en las reacciones de organismos biológicos. Se utilizan como propulsores de aerosoles y como refrigerantes; también se ha empleado como anestésico en medicina, aunque su uso está siendo reducido gradualmente por su daño a la capa de ozono.

## Nomenclatura

Los derivados halogenados se pueden nombrar de dos formas distintas:

- Halogenuros de los grupos alquilo**, es decir, siguiendo la clase de función que consta de dos palabras: el nombre del grupo alquilo y el de la clase de función del compuesto.
- También se pueden nombrar los derivados halogenados por el sistema UIQPA, que considera la función halogenada como sustituyente. Observa los siguientes ejemplos:



Debido a la facilidad de los hidrógenos para ser sustituidos por halógenos, en la industria química se pueden encontrar miles de compuestos de gran aplicación.

## Compuestos importantes de los derivados halogenados

Esta importancia se debe a la gran cantidad de reacciones y transformaciones que provocan. En la [Tabla 4.14] se representan ejemplos de algunos tipos de compuestos de importancia comercial.

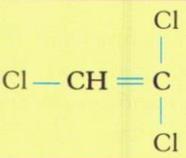
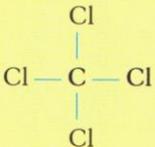
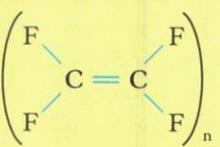
Derivados	Fórmula	Derivados	Fórmula
<b>Bromuro de metilo:</b> se utiliza como veneno en los fumigantes para algunos roedores.	$\text{CH}_3 - \text{Br}$	<b>Hexacloruro de benceno:</b> importante insecticida.	
<b>Cloruro de etilo:</b> se emplea en la preparación de antidetonantes.	$\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{Cl}$	<b>Tricloroetileno:</b> disolvente de grasas, aceites y resinas.	
<b>Tetracloruro de carbono:</b> disolvente, agente de limpieza y extinguidores.		<b>Teflón:</b> polímero muy estable, utilizado en recubrimientos de metales. Muy estable al calor.	

Tabla 4.14 Algunos tipos de compuestos halogenados de importancia comercial.

## 4.4 IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA DE LOS COMPUESTOS DEL CARBONO

Gracias a los millones de compuestos que se forman a partir del átomo de carbono podemos contar con medicamentos, plásticos, ropa, alimento, algunas materias primas para la construcción de viviendas, etc. Estos compuestos son muy necesarios para la vida, sin embargo, durante la manufacturación de muchos productos se forman subproductos que son altamente contaminantes para el medio ambiente y, por ende, para los organismos vivos.

La economía de algunos países se basa en la explotación de productos naturales, como es el caso del petróleo, que sirve como materia prima para la elaboración de otros compuestos que son de gran importancia económica.

Como bien sabes, los **hidrocarburos** se obtienen del petróleo, gas natural y de los yacimientos de carbón.

El petróleo ha sido determinante en México para su economía, finanzas públicas, industria, desarrollo tecnológico, equilibrio comercial, etc. Además, de las relaciones que genera con otros países, principalmente con Estados Unidos. Se puede mencionar que el petróleo ha sido un elemento benéfico para la vida económica de México desde las primeras décadas del siglo XX.

México ocupa el quinto lugar en producción de petróleo en el mundo y el décimo en términos de exportación. **[Tabla 4.15]** El sector petrolero es crucial para la economía de México. Los ingresos derivados del petróleo constituyen más del 10% de las exportaciones, sin embargo, Petróleos Mexicanos (Pemex) estima diez años más de vida para los yacimientos petroleros debido a una excesiva explotación.

Lamentablemente, la producción ha venido a la baja considerablemente, en 2008. La producción actual de 2 millones 912 mil barriles diarios se estima que se convierta en 2 millones 750 mil barriles diarios, lo que representa una disminución de 162 000 barriles diarios.

A nivel mundial, las cifras de reservas totales de petróleo en el mundo dedujeron que México cuenta con 12.9 miles de millones de barriles, en otras palabras, sólo el 1.1% de la existencia mundial.

Junto con el petróleo se encuentra el gas natural, que es una mezcla de hidrocarburos gaseosos en condiciones normales de presión y temperatura. Este gas se puede hallar en yacimientos aislados o combinado con el petróleo o carbón, y contiene compuestos volátiles de bajo peso molecular (hasta ocho átomos de carbono). Casi siempre tiene la siguiente composición: 69% metano, 1% propano, 3% etano, 1% butano, 10% dióxido de carbono, 15% sulfuro de hidrógeno, 1% nitrógeno. De esa mezcla de gases se suelen separar, por licuación, los hidrocarburos de tres carbonos en adelante, que son envasados a presión y empleados como combustible doméstico (propano o butano).

El petróleo recién extraído de los mantos no tiene uso y es necesario someterlo a las destilaciones primarias y secundarias. Para ello el petróleo es llevado a las refinerías con el objetivo de formar derivados, es decir, materia prima para la elaboración de un gran número de productos.

La capacidad de refinación en México no ha crecido desde hace casi tres décadas. Por eso se importa más de la tercera parte de los productos petrolíferos. En 2006, las importaciones de productos llegaron a 364 mil barriles diarios, generando un déficit comercial de más de 5 mil millones de dólares. Las importaciones de gasolina representaron 38.8% del consumo nacional. Esta falta de inversión oportuna ha provocado graves desajustes. Esto se debe a la falta de refinerías en nuestro país.

¿Te imaginas la vida sin petróleo? Sería un caos porque de esta sustancia obtenemos un gran número de compuestos de suma importancia para nuestra vida. Por ejemplo, combustibles como la gasolina, diésel, turbosina para aviones. También los combustibles son utilizados para generar electricidad, importante para el funcionamiento de fábricas, hospitales, oficinas, etc. Igual importancia tiene el

1	Arabia Saudita	12%
2	Rusia	11%
3	Estados Unidos	10%
4	Irán	5%
5	México	4%
6	China	4%
7	Noruega	4%
8	Canadá	4%
9	Emiratos Árabes Unidos	3%
10	Venezuela	3%
11	Resto del mundo	40%

**Tabla 4.15** Principales productores de petróleo en el mundo.

petróleo en la petroquímica ya que de él obtenemos plásticos, fibras sintéticas, detergentes, medicinas, polímeros, agroquímicos, entre otros.

Actualmente, el gobierno federal, en conjunto con Pemex, busca alternativas para invertir recursos sustanciales y moderar la declinación de algunas sondas petroleras como Cantarell; concluir grandes proyectos como el Ku-Maloob-Zaap y Litoral Tabasco para petróleo crudo; Burgos, Macuspana y Cuenca de Veracruz para el gas; desarrollar Chicontepec; pero, sobre todo, explorar yacimientos de alto potencial en aguas profundas para recuperar las reservas y que esto nos permita volver a usar este recurso en beneficio del país.

**[Ilustración 4.7]** Se especula que en el Golfo de México, en aguas profundas, el potencial petrolero asciende a una cantidad que oscila entre 30 mil y 50 mil millones de barriles de petróleo. La importancia del proyecto Chicontepec que realiza Pemex radica en que representa el 39% de la reserva total de hidrocarburos del país, es decir, cerca de 17.7 miles de millones de barriles de petróleo crudo equivalente.



**Ilustración 4.7** Plataforma petrolera en el Golfo de México.

El 24 de julio de 2011 el gobierno federal reactivó la refinería de Minatitlán, Veracruz, con el propósito de disminuir las importaciones de gasolina y aumentar las exportaciones de crudo, ya que la reconfiguración de la refinería de Minatitlán contempla un incremento en su capacidad, así como la adición de una coquizadora, que permitirá un mayor procesamiento de crudo Maya (petróleo extraído de la sonda de Campeche).

Datos del INEGI muestran que las exportaciones petroleras en junio de 2011 sumaron 5,052 millones de dólares. Este monto se integró de únicamente 4 416 millones de dólares de ventas de petróleo crudo y de 636 millones de dólares de exportaciones de otros productos petroleros. En ese mes, el precio promedio de la mezcla mexicana de crudo de exportación se situó en 103.29 dólares por barril, nivel inferior en 1.03 dólares respecto al mes de mayo pasado y superior en 35.88 dólares en comparación con el mes de junio de 2010. En cuanto al volumen de crudo exportado, éste se ubicó en junio de 2011 en 1 425 millones de barriles diarios, nivel superior al de 1 368 millones de barriles diarios observado en mayo del presente año y al de 1 110 millones de barriles diarios de junio de 2010. Algunos datos de exportaciones se muestran en la **[Tabla 4.16]**

Derivado de hidrocarburo	Ganancia estimada en millones de dólares
Amoniaco	0.4
Cloruro de polivinilo	20.9
Etileno y polietileno	19.7
Polipropileno	6.6
Gas LP	1.8
Fueloil	125.3
Turbosina	41.4

Tabla 4.16 Exportaciones de hidrocarburos durante el 2010.

Por otro lado, existen otras fuentes para la obtención de hidrocarburos como el **carbón mineral** obtenido de las minas. Este se tritura finamente y se presiona a 700 atmósferas hasta convertirlo en aceite pesado «lignito»; posteriormente, por calentamiento a 500 °C, en presencia de catalizadores del hidrogenado de la mezcla, se obtienen mezclas de alcanos líquidos; este proceso se conoce como **método de Bergius**, obteniendo así grandes cantidades de compuestos aromáticos como el tolueno, xileno, naftaleno, etc., estos compuestos aromáticos se separan por una destilación fraccionada. En México, los principales yacimientos de carbón se localizan en los estados de Coahuila, Oaxaca y Sonora.

Lamentablemente el descubrimiento de los hidrocarburos, así como la fabricación de un sinnúmero de derivados ha provocado múltiples beneficios, pero desgraciadamente ha traído problemas severos de contaminación.

La contaminación por petróleo crudo o refinado se debe a la sobreexplotación, ya que se alteran los ecosistemas cuando se extrae del manto petrolífero; los desechos son arrojados a mares, ríos o arroyos. La generación de agentes tóxicos en la quema de desechos, mal manejo de transporte de este tipo de sustancias y en la actualidad las tomas clandestinas provocan derrames, que traen como resultado alteraciones ecológicas graves. **[Ilustración 4.8]**

Investigaciones realizadas consideran que el 50% de contaminación de los mares y océanos es provocado por los desechos de las grandes ciudades y por la industria química, ya que los desperdicios son arrojados a las cañerías y son arrastrados por las corrientes fluviales hasta terminar en los océanos.



Ilustración 4.8 Afectedaciones al medio ambiente causadas por un derrame de petróleo.

Otro factor de contaminación se debe a los desechos de miles de barcos que transitan en los mares. Se estima que 1500 millones de toneladas de petróleo son transportadas y debido a la mala manipulación se derrama 0.1% en estas aguas. Un factor más en la contaminación por hidrocarburo es la explotación del petróleo en los pozos de perforación. Se derrama poco menos de la cuarta parte de la obtención de petróleo, lo cual provoca daño al suelo, aire y agua.

En los últimos años se ha observado que el acto de terrorismo ambiental ha provocado fuerte contaminación, como lo sucedido en 1991 en el Golfo Pérsico, donde cinco barcos kuwaitíes cargados de petróleo crudo fueron arrojados al Golfo provocando un derrame de 525 millones de litros. Investigaciones revelan que la limpieza de estas aguas requerirá de más de 200 años.

También debemos tomar en cuenta que existen otros contaminantes que dañan severamente el ecosistema de las aguas de los mares; tal es el caso del derramamiento accidental de ácido sulfúrico ocurrido en 1993 en las costas de Michoacán, México.

La emisión de gases tóxicos provocada por la quema de gasolina de los vehículos o por las industrias, al estar dispersos en el aire, genera reacciones con la humedad del ambiente formándose los compuestos de la lluvia ácida, la cual es muy nociva para el suelo, agua de ríos y lagos, plantas, etc., ya que cambia el pH y altera el hábitat de todo ser vivo en el ecosistema.

## BLOQUE 5

# IDENTIFICAS LA IMPORTANCIA DE LAS MACROMOLÉCULAS NATURALES Y SINTÉTICAS.

### 5.1 MACROMOLÉCULAS, POLÍMEROS Y MONÓMEROS

La naturaleza de los materiales que rodean a la humanidad o de las que está constituido se debe a un sinnúmero de moléculas conformadas por estructuras químicas de diferentes tamaños y, por ende, de distintas masas moleculares. Por ejemplo, la información genética que adquirimos de nuestros padres se debe a una molécula de gran peso llamada ADN. Debido a la información que ella posee es necesario que sea de gran tamaño; esta estructura es una macromolécula natural. La industria ha realizado grandes moléculas con pesos moleculares de gran tamaño que para nuestra vida diaria tiene muchas aplicaciones, por ejemplo los plásticos y el teflón, que es una macroestructura formado por polímeros, es decir uniones de monómeros de tetrafluoretanos. Estas macromoléculas, en conjunto con los plásticos, han logrado sustituir con ventaja al vidrio, cerámica, madera y hasta, los metales.

El Diccionario de la Real Academia define al término **macro** como «grande»; como sabes, la palabra **molécula** se define como una estructura química conformada por dos o varios átomos unidos mediante una fuerza: un enlace químico. Al unir ambos términos tendremos la palabra **macromolécula**; químicamente la podemos describir como una estructura grande con peso molecular elevado.

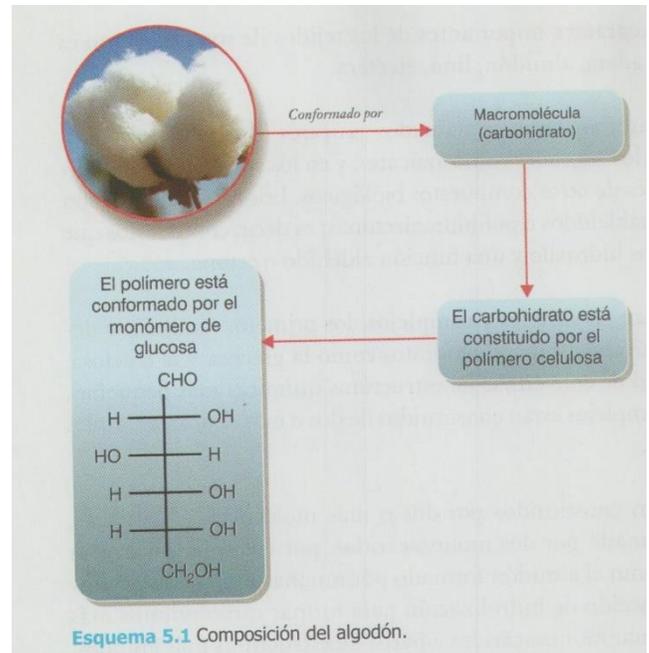
Las macromoléculas están constituidas por repeticiones de estructuras grandes llamadas **polímero**; éstos a su vez están formados por repeticiones de estructuras pequeñas llamados **monómeros**.

Empecemos con los más pequeños de la familia: los monómeros, término que proviene de la palabra griega *mono*, que significa «uno», y **meros**, que quiere decir «parte»; son estructuras químicas de bajo peso molecular. Cuando se unen los monómeros para nombrarlos se utilizan los prefijos numéricos unidos al término monómero; por ejemplo, si se unen dos se llamaría dímero. La reacción por la cual los monómeros se unen se conoce como **polimerización**. Por lo tanto, en la formación de polímeros la unión de más de mil monómeros se considera polímero, derivada de la palabra griega *polys*, que significa «muchos».

El algodón que utilizas para diversas actividades en el hogar, ya sea para desmaquillarte o para formar una torunda e impregnarla de alcohol, tiene consistencia sedosa, que se debe a un carbohidrato - macromolécula- constituido por polímeros de celulosa, a su vez constituidos mediante monómeros de glucosa. [Esquema 5.1]

Las macromoléculas se dividen en **sintéticas y naturales**.

Las propiedades físicas que presentan los monómeros son distintas cuando son polímeros, y a su vez cuando se forma la macromolécula. Esta diferencia de comportamientos químicos se debe al reordenamiento de los enlaces químicos. Recordemos que presentan grupos funcionales que los caracterizan.



## 5.2 MACROMOLÉCULAS NATURALES

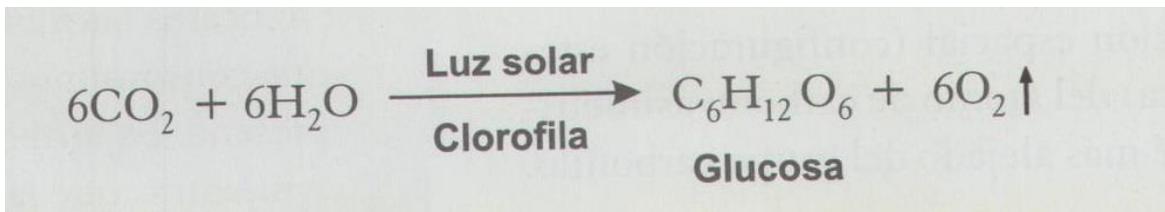
Las macromoléculas naturales están presentes en los organismos vivos; las podemos encontrar en los bellos plumajes de las aves, nuestra piel, en las frutas, tejidos, grasas, etc.

Entre las macromoléculas naturales presentes en la naturaleza se encuentran los **carbohidratos** (presentes en los azúcares de diversos alimentos), **lípidos** (tejido adiposo), **proteínas** (tejido animal) y **ácidos nucleicos** (responsables de la información genética). Analicemos cada una de ellas:

### Carbohidratos

Los carbohidratos están presentes en todos los organismos vivos como plantas, frutas, nuestro organismo, partes del cuerpo de invertebrados, etc.

Los compuestos denominados carbohidratos poseen la fórmula general  $C_n(H_2O)_n$  y nos indica que son  $n$  átomos de carbono con  $n$  moléculas de agua. Las plantas verdes sintetizan este tipo de macromolécula durante la fotosíntesis, proceso en el que la luz solar suministra la energía necesaria para convertir las moléculas de dióxido de carbono y agua en glucosa más oxígeno; observa la ecuación química:

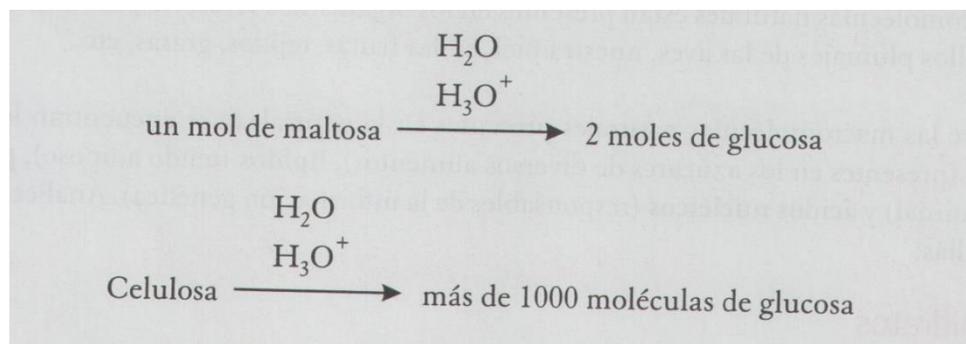


Cuando se forman miles de moléculas de glucosa se unen químicamente para formar celulosa o almidón. Investigaciones establecen que más del 50% de los seres vivos están constituidos por glucosa, ya que al organismo le proporcionan energía para la realización de un sinnúmero de actividades, desde las metabólicas hasta correr, caminar, leer, ver, etc., y en las plantas o en algunos animales son integrantes importantes de los tejidos de soporte, como es el caso de la celulosa presente en la madera, almidón, lino, etcétera.

Los carbohidratos o hidratos de carbono, también llamados azúcares (del latín *saccharum*, que significa «azúcar»), se localizan en los vegetales como azúcares, y en los animales en los tejidos; son fuentes de energía y precursores de otros compuestos biológicos. Los carbohidratos son definidos como compuestos polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas; es decir, compuestos que presentan en su estructura varios grupos hidroxilo y una función aldehído o cetona.

Los hidratos de carbono se clasifican en **simples** y **complejos**; los primeros también se denominan azúcares simples o **monosacáridos**; son carbohidratos como la glucosa y la fructosa. Estas estructuras no tienen la capacidad de convertirse en estructuras químicas más pequeñas. En el caso de los hidratos de carbono complejos están constituidos de dos o más azúcares simples unidos entre sí mediante enlaces **acetal**.

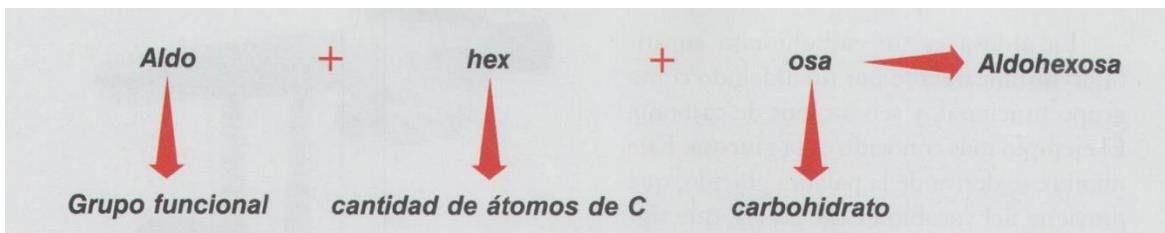
Los carbohidratos complejos están constituidos por dos o más moléculas de azúcares, es decir, un **disacárido compuesto** formado por dos monosacáridos, por ejemplo la sacarosa (glucosa + fructosa), o polisacárido como el almidón formado por muchas moléculas de glucosa; estas polimoléculas presentan reacción de hidrolización para formar carbohidratos más sencillos. Esta reacción consiste en formar monosacáridos a partir de estructuras más grandes; por ejemplo, al analizar la molécula de un disacárido (unión de dos monosacáridos) se obtendrán moléculas de monosacáridos por rompimiento o disociación de moléculas de agua, (hidrólisis) formando un monómero; observa lo siguiente:



Como bien se dijo, los monosacáridos son estructuras químicas que por reacción no se transforman en más pequeñas; se clasifican según los siguientes criterios:

- Si el azúcar presenta grupo funcional aldehído (-CHO) o cetona (C=O);
- La cantidad de carbonos presentes en la estructura;
- La disposición espacial (configuración estereoquímica) del átomo de carbono asimétrico que esté más alejado del grupo carbonilo.

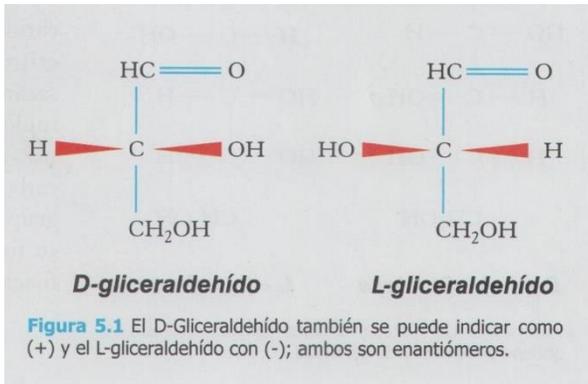
Los azúcares presentan en su nombre el sufijo -osa para referirse a ellos, y el prefijo aldosa o cetosa para identificar el grupo funcional que tiene presente la estructura, y finalmente se presenta el prefijo numérico di, tri, tetra, hexa, etc., que indicará la cantidad de átomos de carbono; al unir los tres términos nos queda de la siguiente manera:



Un tercer criterio es la conformación espacial de los carbohidratos. Estas macromoléculas se pueden encontrar en **estructura lineal** o **cíclica**. Para comprender mejor las formas que adoptan los azúcares hablaremos un poco de historia. Entre 1880 y 1900 ocurrió el auge que dieron los avances para la determinación de las estructuras de los azúcares tanto naturales como artificiales, así como una mejor comprensión de sus estructuras. En esas fechas también se realizó la formación de nuevos carbohidratos mediante el método de degradación, el cual consistía en eliminar un carbono, es decir hacer más pequeña la molécula.

El químico alemán Hermann Emil Fischer se basó en los estudios de estereoquímica y analizó el ordenamiento espacial que tenían las estructuras químicas. Fischer se basó en el monómero más pequeño, el gliceraldehído, observando que presentaba un centro quiral (del griego *cheir*, «mano») o asimétrico, es decir, es un carbono que presenta cuatro uniones distintas; él se imaginó que podían estar presentes en el espacio de dos formas; el compuesto será el reflejo de la otra (como si fuera el reflejo de nuestras manos, no se pueden superponer pero son el reflejo); a los compuestos que presentan esta característica se les conoce como **enantiómeros**.

Se menciona que cuando una molécula presenta más de un átomo de carbono quiral existen dos estereoisómeros llamados **diastereoisómeros**.



Un par de compuestos enantiómeros presentan propiedades físicas muy parecidas, sin embargo desvían la luz polarizada; se les llama **dextrorrotatorio** o **dextrógiro** cuando la dirección de la luz polarizada es en dirección a las manecillas

del reloj; en caso contrario se le conoce como **levógiro** o **levorrotatorio**.

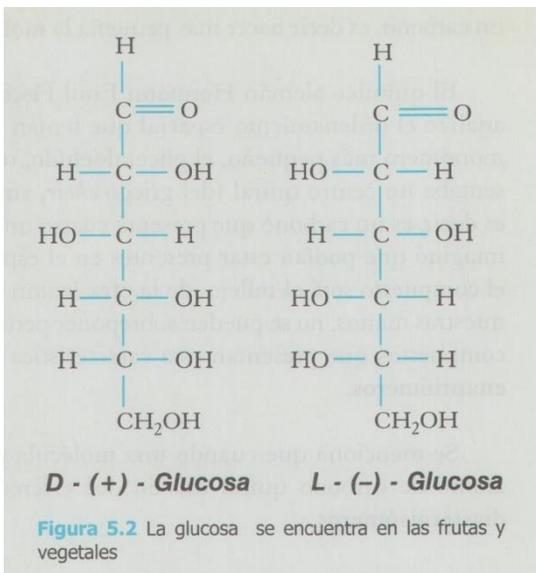
Por lo anterior, Fischer dedujo que si la molécula del gliceraldehído la representaba mediante la fórmula de proyección ésta consistía en una proyección plana donde los enlaces horizontales están situados en la parte de enfrente de la hoja de tu libro y las verticales en la parte de atrás.

Fischer concluyó con esa hipótesis que el monosacárido triosa presenta enantiómeros. **[Figura 5.1]**

El polarímetro es un instrumento que permite determinar el valor de desviación de la luz polarizada. **[Ilustración 5.1]**

Veamos las características de los monosacáridos.

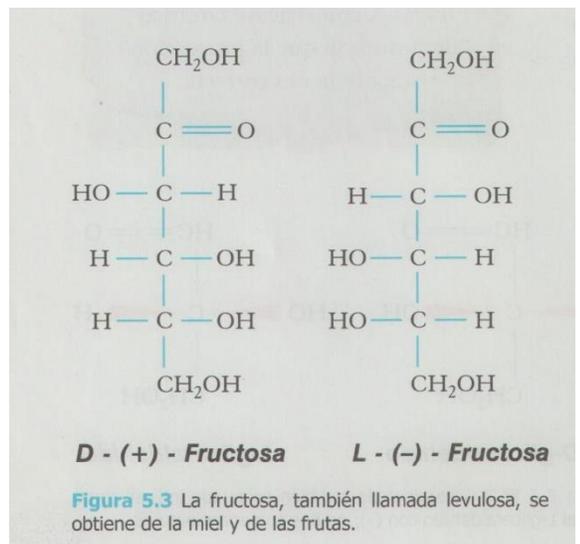
La **aldosa** es un carbohidrato constituido químicamente por un aldehído como grupo



funcional, y seis átomos de carbono. El ejemplo más conocido es la **glucosa**. Este nombre se deriva de la palabra glúcido, que proviene del vocablo griego *glykys*, que significa «dulce». **[Figura 5.2]**

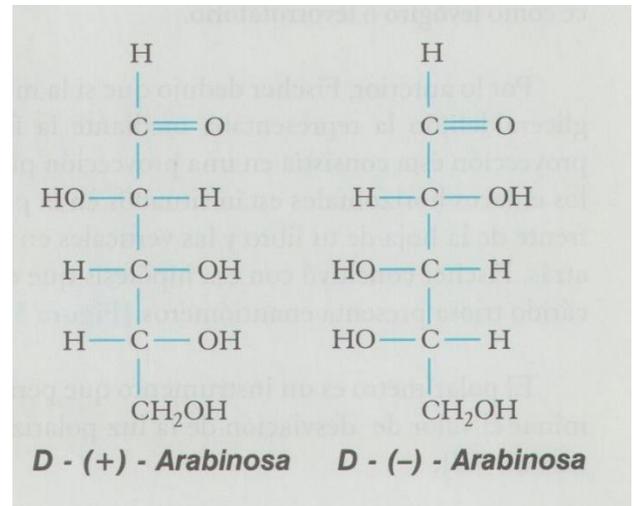
Otro ejemplo es la cetohexosa, carbohidrato con grupo funcional cetona formado por seis átomos de carbono. **[Figura 5.3]**

Veamos otros ejemplos:

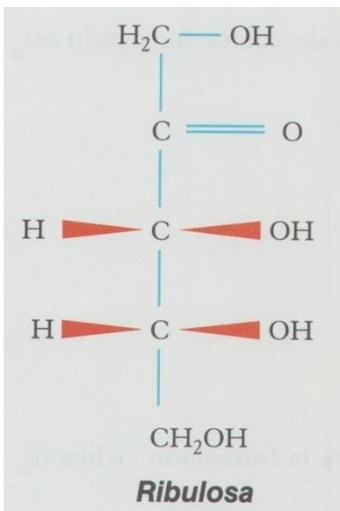


La **aldopentosa** es un monosacárido con cinco átomos de carbono y un grupo aldehído; por ejemplo, D-arabinosa o L-arabinosa, D-Ribosa, entre otras.

En la naturaleza las podemos encontrar en la goma arábica, pectina y otros productos naturales. También se ha encontrado la D-arabinosa en bacterias y levaduras. Una revista chilena de infectología publicó en el año 2009 que las infecciones por candidiasis dan positivo a las pruebas con arabinosa. La ribosa se localiza en el ARN.

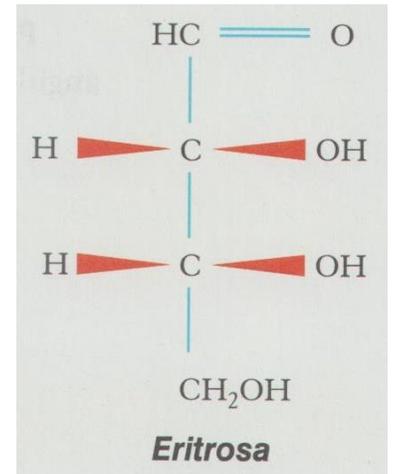


Otra pentosa muy conocida es la **ribulosa**, molécula formada por cinco átomos de carbono con un grupo cetona y cuatro grupos hidroxilos en la estructura. La podemos encontrar en el material biológico, en la fase oscura de la fotosíntesis, (ciclo de Calvin), encargada de fijar el CO<sub>2</sub> en la célula.

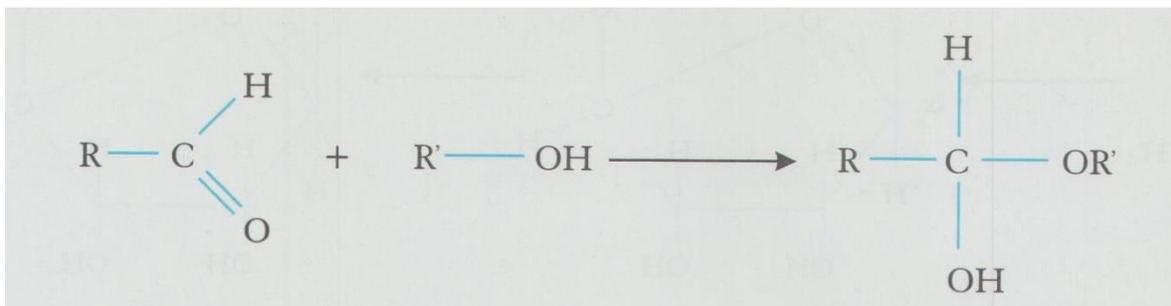


El monosacárido llamado **eritrosa** es un sacárido constituido por cuatro átomos de carbono con un grupo aldehído; su función es la fijación de CO<sub>2</sub>.

Las triosas son compuestos formados por tres átomos de carbono como los gliceraldehídos, compuesto que tiene una cadena de tres átomos de carbono; su fórmula condensada es C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>. Este tipo de compuesto se encuentra presente en el metabolismo de la glucosa vía glucolítica unido a un grupo fosfato para formar gliceraldehído-3-fosfato.



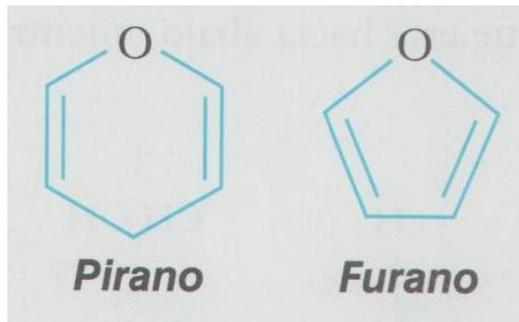
Ahora bien, el químico británico Walter Norman Haworth, basado en las proyecciones de Fischer, se imaginó a los carbohidratos en forma cíclica,



demostrando que las aldohexosas y otros azúcares reaccionan para formar hemiacetales cíclicos.

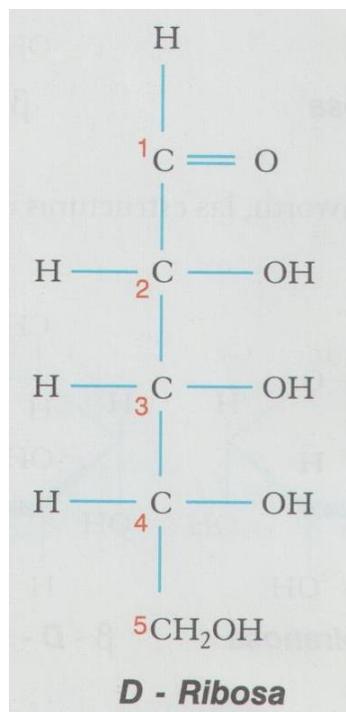
Un hemiacetal se forma por la reacción entre aldehídos y alcoholes.

Hoaworth tomó estructuras del la ciclación de los detalladamente el reacción.



como referencia las furano y pirano, para azúcares; observa mecanismo de

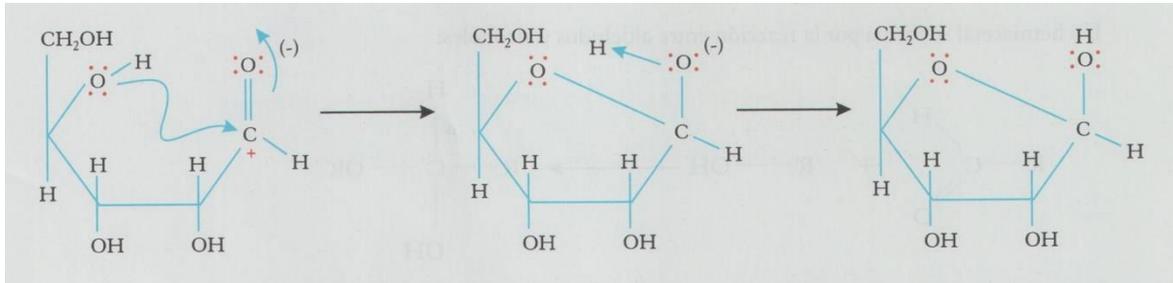
**Paso 1.** Enumeró la Fischer.



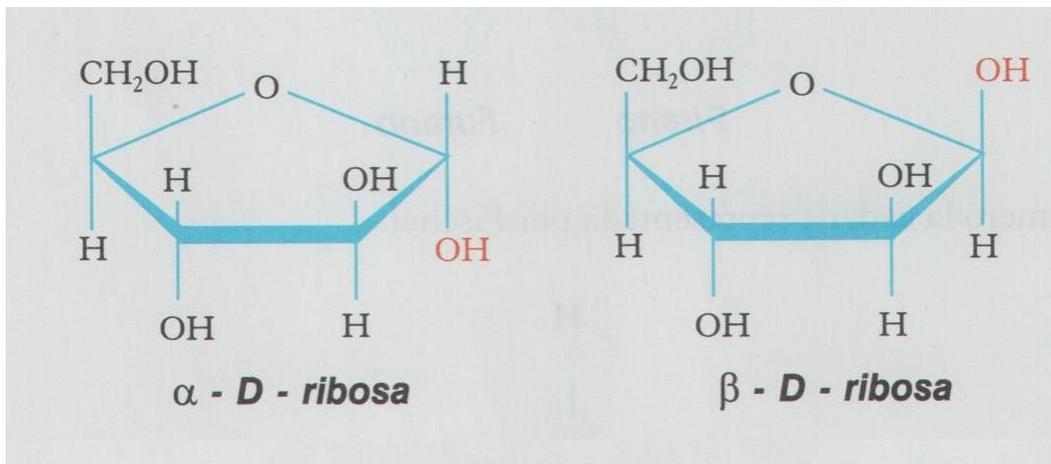
cadena representada por

**Paso 2.** Posteriormente, a la estructura le ajustó las longitudes de enlace formando así ángulos; observa detalladamente la posición de cada carbono.

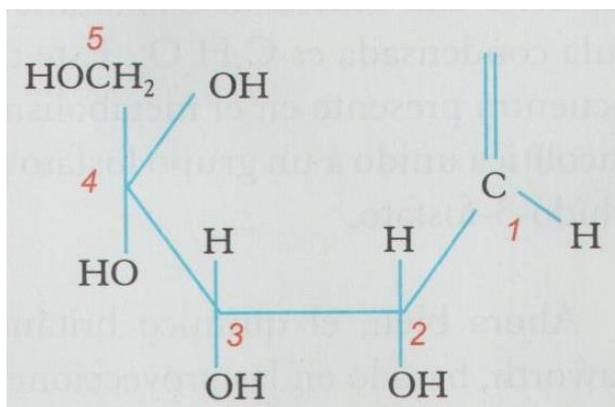
**Paso 3.** Observa detalladamente el movimiento electrónico para la formación cíclica de la ribofuranosa.



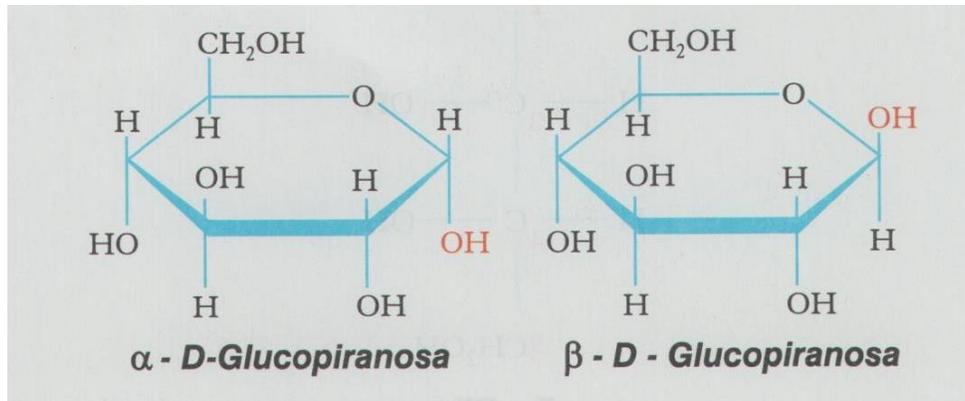
**Paso 4.** Finalmente, Haworth predijo que se pueden formar la  $\beta$ -D-ribofuranosa y la  $\alpha$ -D-ribofuranosa de acuerdo con el ordenamiento que presente el grupo hidroxilo, como en el caso de la  $\alpha$ -D-ribose el OH que está hacia abajo, mientras que en posición  $\beta$  el OH está arriba del C-1 en el ciclo.



Utilizando la  
Haworth, las  
glucosas serían



deducción de  
estructuras de las  
siguientes:



La **sacarina** es un compuesto sintético descubierto por Constantin Fahlberg; fue obtenido por primera vez del alquitrán, llamándolo sacarina (O-sulfamida benzoica). Este compuesto es ampliamente utilizado para las dietas -edulcorante- debido a que el cuerpo no metaboliza el compuesto y su sabor es 300 veces más dulce.

### Disacáridos

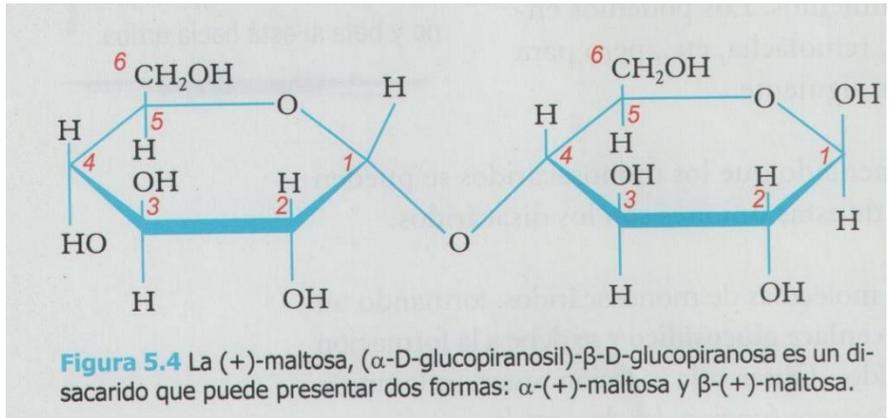
Casi a diario, consumimos los disacáridos en los alimentos. Los podemos encontrar en el azúcar de caña, el glúcido de la leche, remolacha, etc., pero para conocerlos un poco más es necesario que analices lo siguiente.

Durante el desarrollo de este bloque, se ha comentado que los monosacáridos se pueden unir para formar moléculas complejas; un ejemplo de estas uniones son los disacáridos.

Los disacáridos se presentan cuando se unen dos moléculas de monosacáridos, formando un enlace de tipo éter (R-O-R). Esa unión se conoce como **enlace glucosídico** y se debe a la formación de un hemiacetal -reacción de un alcohol y un aldehído-. Observa la reacción anterior; la unión puede ser  $\alpha$  o  $\beta$  dependiendo del ordenamiento de los grupos funcionales durante la reacción.

Por ejemplo, analicemos:

La **sacarosa** es el azúcar de mesa común; se extrae de la remolacha (betabel) o de la caña. Las moléculas de monosacáridos que constituyen a dicho disacárido son  $\alpha$ -D-glucosa y  $\beta$ -D-fructosa. La glucosa (aldohexosa) es una piranosa (estructura parecida a un pirano), mientras que la fructosa (cetoheptosa) proviene del furano. Para explicar la formación de la sacarosa, podemos decir que el carbono 1  $\alpha$  de la glucosa se enlaza con el carbono 2  $\beta$  de la fructosa a través de un enlace glucosídico; dicha unión provoca la pérdida de una molécula de agua. En la notación  $\alpha\beta(1 \rightarrow 2)$ , la letra griega  $\alpha$  indica que el grupo OH está en posición abajo, mientras que  $\beta$  indica que el grupo OH presente en el carbono 2 de la fructosa está hacia arriba; observa lo siguiente:



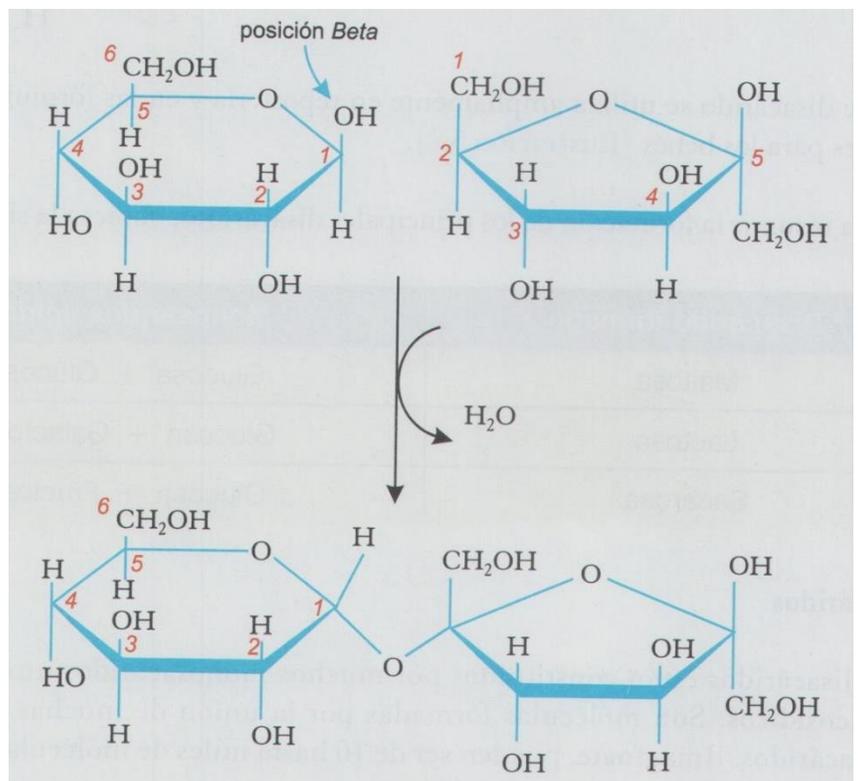
La sacarosa se nombra  $\alpha$ -D-glucopiranosil  $\beta$ -D-fructofuranósido; presenta la fórmula condensada  $C_{12}O_{22}H_{22}$ .

### Maltosa

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es ampliamente utilizada en la industria de la cerveza. Esta enzima hidroliza el almidón de la cebada primeramente a maltosa y después a glucosa, para fermentar y finalmente obtener el alcohol.

La maltosa es un disacárido formado a partir de la molécula del almidón mediante hidrólisis por acción de la enzima diastasa por dos moléculas de glucosa; éstas están unidas en posiciones 1,4.

**[Figura 5.4]**

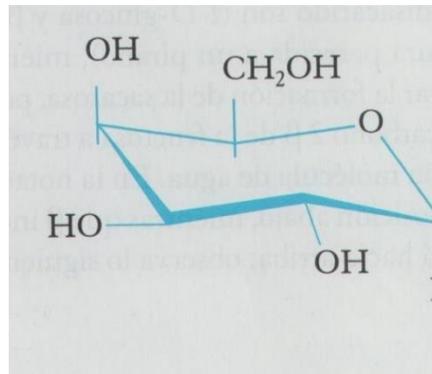




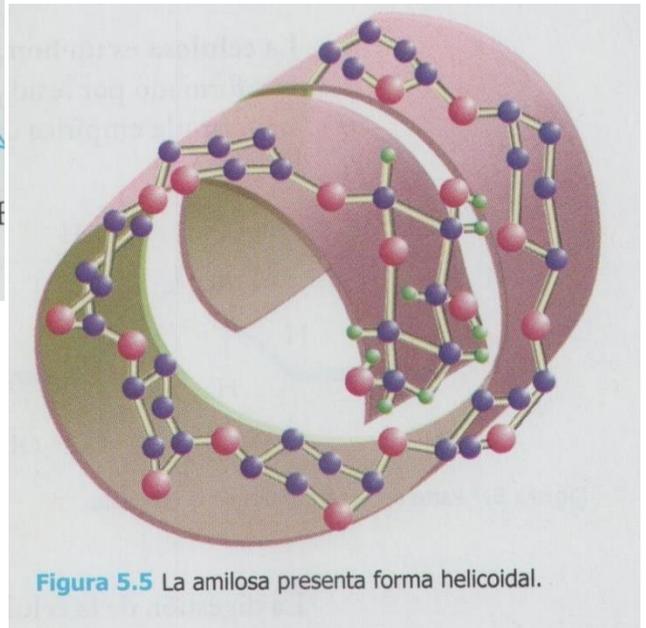
**Ilustración 5.2** La lactosa también es conocida como azúcar de la leche; se forma en las glándulas mamarias de los mamíferos.

## Lactosa

Es un disacárido presente en la leche de casi todos los mamíferos; es un azúcar que al hidrolizarse produce D-glucosa y D-galactosa; el enlace glicosídico que forma es  $\beta(1 \rightarrow 4)$ ; lo anterior indica que en ambas estructuras los grupos hidroxilos se encuentran en posición beta y la unión se llevará a cabo en C1 y C4; observa la reacción:



Este disacárido se utiliza ampliamente en repostería y en las fórmulas lácteas comerciales para los bebés. **[Ilustración 5.2]**

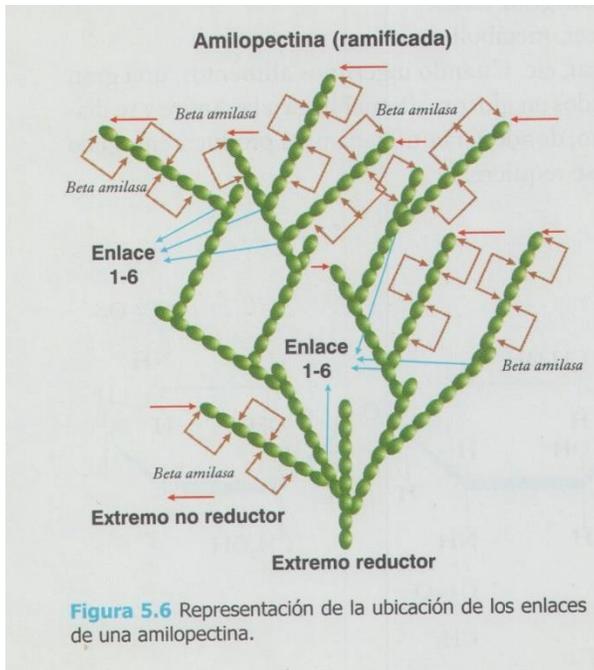


Para resumir la formación de los principales disacáridos, observa la siguiente tabla:

Disacárido formado	Monosáridos unidos
Maltosa	Glucosa + Glucosa
Lactosa	Glucosa + Galactosa
Sacarosa	Glucosa + Fructuosa

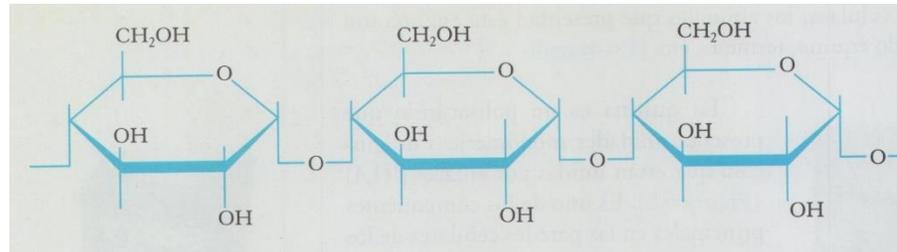
## Polisacáridos

Los polisacáridos están constituidos por muchos monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos. Son moléculas formadas por la unión de muchas moléculas de monosacáridos. ¡Imagínate, pueden ser de 10 hasta miles de moléculas! Por eso son polímeros a los polisacáridos que están compuestos por un solo tipo de monosacáridos se les llama **homopolisacáridos**, y los que están constituidos por varios tipos de monómeros se les conoce como **heteropolisacáridos**; los



polisacáridos más importantes son almidón, glucógeno y celulosa. Veamos algunos de ellos.

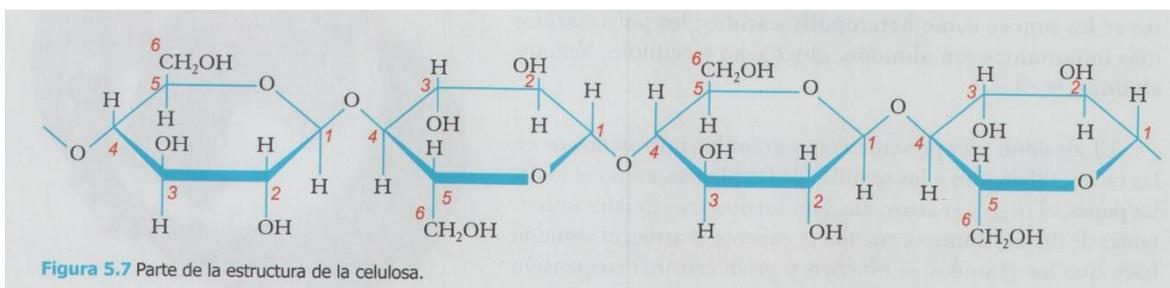
El **almidón** está presente como gránulos microscópicos en las raíces, tubérculos y las semillas de las plantas, como el maíz, las papas, el trigo y el arroz, etc. Son fuentes comerciales importantes de dicho polímero; cuando se calienta el arroz el almidón hace que los gránulos se hinchen y producen una suspensión coloidal, donde se aíslan dos componentes: amilosa y amilopectina. **[Figura 5.5]**



La **amilopectina** es un polímero ramificado que presenta dos tipos de enlaces glucosídicos:  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) y  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  6); esta molécula puede presentar pesos que van de 50 000 a 1 000 000. **[Figura 5.6]**

El **glucógeno** es un polímero de cadena ramificada formada por D-glucosa. Consta de una cadena con enlaces  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) y  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  6); en los puntos de ramificación. Los puntos de ramificación del glucógeno se presentan en cada diez residuos, en comparación con la amilopectina del almidón, que presenta cada ramificación cada 25 residuos de amilopectina. El glucógeno se encuentra en las células de los animales y forma gránulos parecidos al almidón; éstos se presentan en las células hepáticas y musculares.

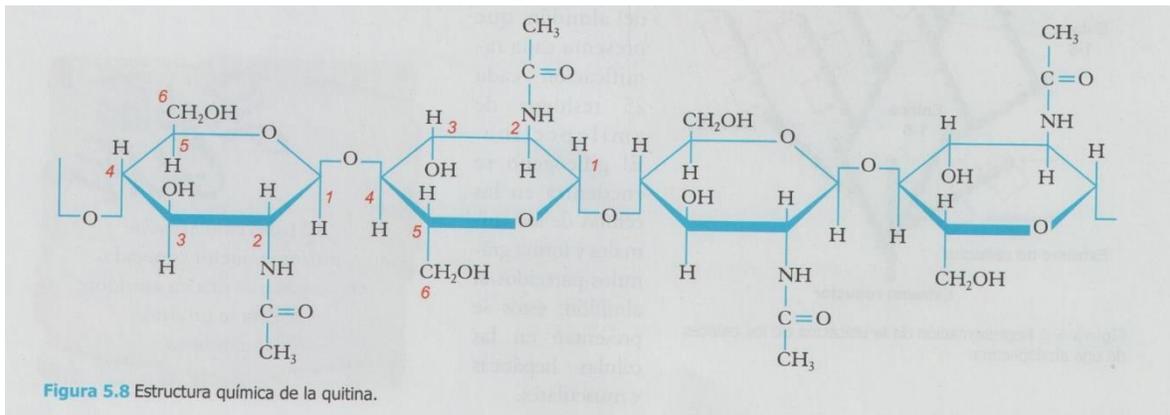
La **celulosa** es un homopolisacárido principal constituyente de la madera y la fibra de las plantas, formado por residuos de D-glucopiranososa unidos mediante enlaces  $\beta$ (1,4) glucosídicos. La fórmula empírica de esta molécula es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . **[Figura 5.7]**



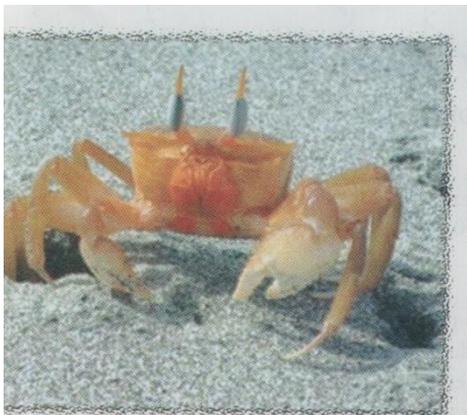
La digestión de la celulosa en los animales se lleva a cabo mediante el rompimiento de los enlaces para obtener las moléculas de glucosa (reacción de hidrólisis), debido a la acción de la enzima celulasa; los animales que presentan esta enzima son el ganado equino, termitas, etc. **[Ilustración 5.3]**

La **quitina** es un polisacárido que presenta unidades monoméricas de glucosa que están unidas por enlaces  $\beta$  (1,4). **[Figura 5.8]** Es uno de los componentes principales en las paredes celulares de los hongos, algas y levaduras. También se encuentra en el exoesqueleto de algunos insectos e invertebrados. **[Ilustración 5.4]**

La **glucosa** es el combustible para tu cuerpo para que realice un gran número de actividades, como leer, metabolizar los alimentos, correr, pensar, etc. Cuando ingerimos alimentos, una gran parte de éstos son convertidos en glucosa, la cual llega a la sangre y se distribuye a todo el organismo, donde será utilizada para producir energía o almacenada para cuando se requiere.



La **insulina** es una hormona que se produce en nuestro organismo en el páncreas; su función es facilitar la entrada de la glucosa a nuestras células para convertirla en energía y almacenarla, pero cuando la persona padece diabetes la insulina que se produce en el cuerpo no llega a ser lo suficiente o no está funcionando adecuadamente, por lo que se acumula en el torrente sanguíneo. Los riñones son el organismo para equilibrar los valores de glucosa presente en el cuerpo, por lo que tratan de expulsarla por medio de la orina, ocasionando muchas ganas de orinar (poliuria); esto provoca que las personas se deshidraten y tenga mucha sed (polidipsia).



**Ilustración 5.4** En el exoesqueleto de los crustáceos se encuentra presente la quitina.



**Ilustración 5.3** La celulosa es ampliamente utilizada en la industria papelera.

Las personas con este desorden presentan debilidad; esto

se debe a que el cuerpo no está generando energía provocado por la ausencia de la materia prima (glucosa) en las células, lo cual genera mucho apetito (polifagia) y ocasiona que la glucosa se eleve más en la sangre. Eso provoca que la persona baje drásticamente de peso, ya que sus células consumen sus reservas con el objetivo de obtener energía. Al incrementar drásticamente la glucosa en la sangre el paciente puede presentar coma diabético.

Datos de la OMS describen la existencia de factores que ayudan a prevenir la diabetes, como llevar una dieta saludable, actividad física regular, mantener peso corporal normal y evitar el consumo de tabaco y alcohol.

## Lípidos

Innumerablemente hemos consumido tacos de carnitas, pizzas con mucho queso, hamburguesas con queso amarillo y después de comer nos lavamos las manos. **[Ilustración 5.5]** Al pensar cuáles serán los compuestos químicos que tienen los alimentos y el jabón estaremos de acuerdo en que existe uno en común, «la grasa», es decir, los lípidos.



**Ilustración 5.5** Los alimentos y el jabón tienen algo en común: la grasa.

Analícemos lo siguiente:

La palabra **lípid** se deriva del término griego *lipos*, que significa «grasa»; son moléculas de origen biológico. Se localizan en las ceras de las plantas, plumaje de las aves, en las abejas, las grasas, aceites, algunas vitaminas, hormonas, varias partes no proteicas de las membranas celulares, etc. Estos compuestos se diluyen en disolventes no polares como éter de petróleo, cloroformo hexano, ciclohexano o éter etílico y parcialmente en agua.



Por la anterior definición y retomando el tema de ésteres en el bloque anterior y de la reacción de esterificación para la formación de ésteres en el tema de lípidos, tendremos que los ácidos grasos están constituidos por ácidos carboxílicos y pueden reaccionar con bases fuertes (NaOH y KOH) resultando sales inorgánicas (sódicas o potásicas) comúnmente llamadas **jabones**. Este tipo de reacción es conocida como **saponificación**, es decir, hidrólisis de una grasa o de un aceite mediante una base fuerte (KOH o NaOH), que en solución acuosa produce glicerol y tres ácidos grasos.

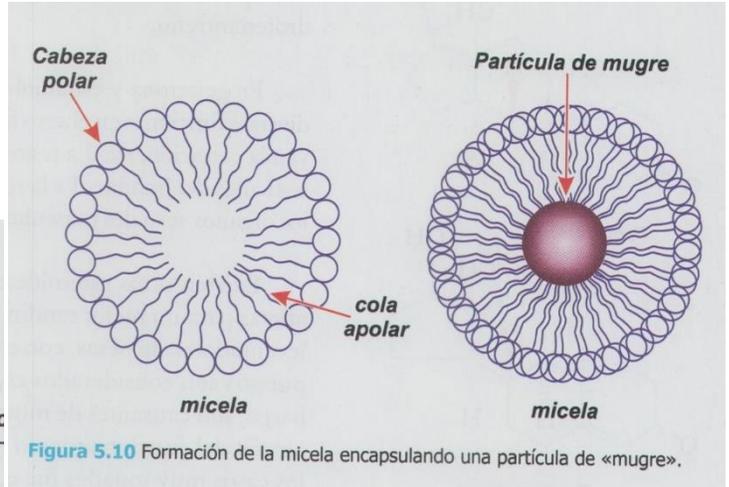
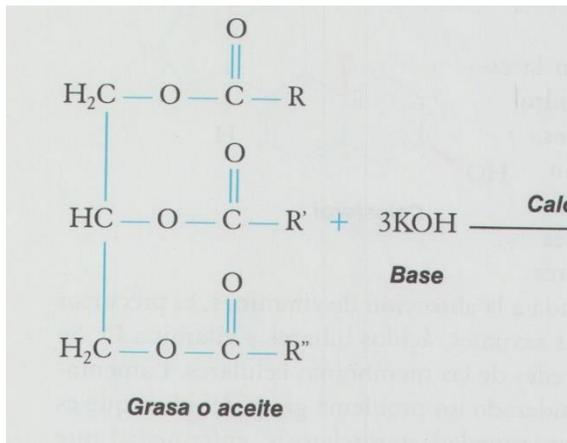


Figura 5.10 Formación de la micela encapsulando una partícula de «mugre».

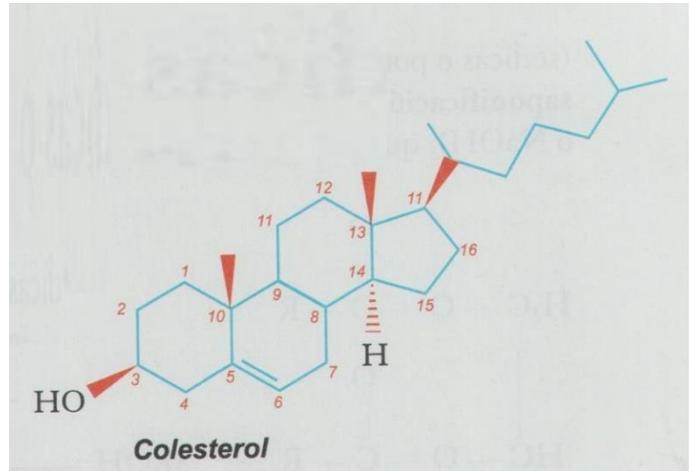
La reacción anterior se lleva a cabo cuando las grasas y los aceites con base fuerte en medio acuoso se calientan a ebullición hasta completar la hidrólisis. Posteriormente se le añade NaCl para que precipite el sólido (jabón). Si los jabones presentan dicha estructura y poseen ambas zonas de polaridad.

Los jabones actúan como limpiadores debido a que presentan una sal de ácido carboxílico, parte iónica (-COOK) que tiene la polar característica de ser hidrofílico. Además presentan una zona apolar (-R), cadena alifática que repele el agua -hidrofóbica-, pero esta zona es soluble en aceites, grasas, «mugre», etc. Cuando los jabones se disuelven en el agua, las cadenas alifáticas apolares se agrupan para formar un medio apolar con las colas (esta parte es la responsable de atrapar la mugre), por lo que se agrupan formando esferas llamadas micelas. La zona polar se encuentra en la parte de las «cabezas de las micelas» que se adhieren al agua. [Figura 5.10]

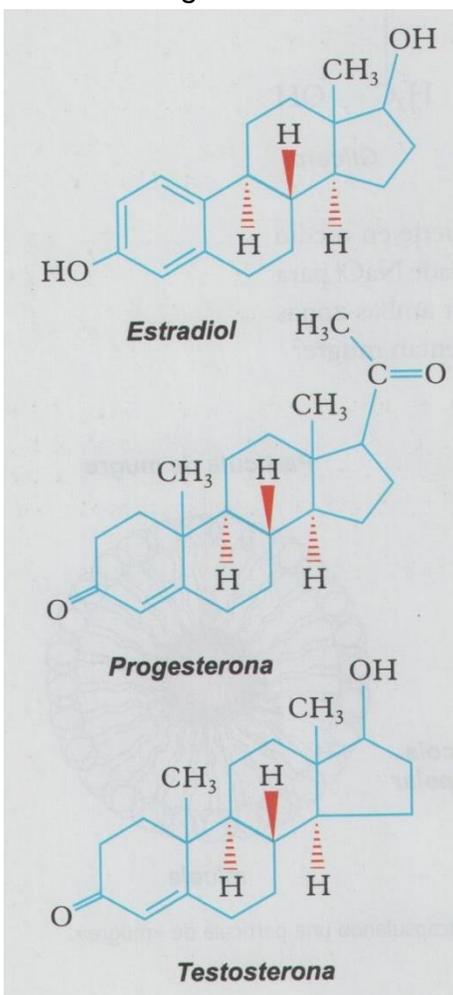
Los lípidos se pueden clasificar en **simples** y **complejos**.

Los **lípidos simples** son aquellos que no se hidrolizan con facilidad en disolución acuosa ácida o básica, aunque sus estructuras sean muy complicadas. En este grupo se encuentran los esteroides (hormonas), prostaglandinas y terpenos.

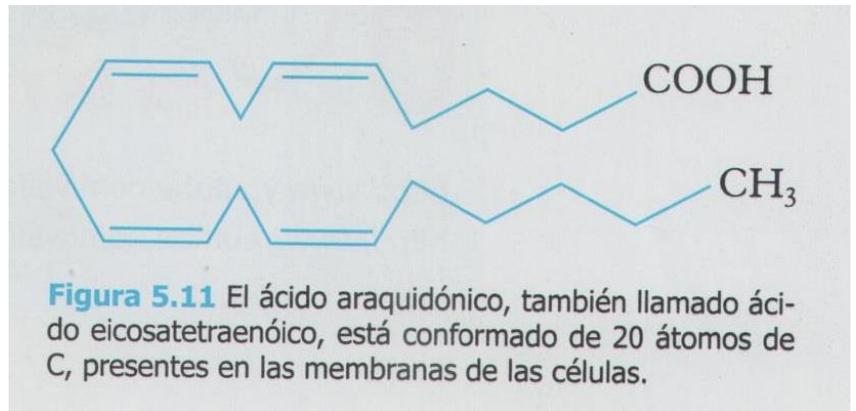
**Prostaglandinas.** Químicamente son compuestos que provienen del ácido araquidónico, ácido graso que presenta más de 20 átomos de carbono y cuatro dobles enlaces. **[Figura 5.11]** Fueron llamadas así porque la primera vez que se descubrieron, por el científico Ulf von Euler, fueron del fluido prostático. Biológicamente son consideradas hormonas. Su efecto radica en la regulación mediante la inhibición o



estímulo de la formación del AMP cíclico (nucleótido que funciona como mensajero de actividades biológicas). Además controlan la presión arterial, estimulan la concentración de los músculos lisos e inducen la inflamación.



**Esteroides.** Estos compuestos presentan en la estructura base la molécula ciclopentanoperhidro fenantreno; es un sistema de anillos fusionados. Existen muchos esteroides de importancia como el colesterol, hormonas sexuales, corticoides, ácidos biliares, etc. El **colesterol** es una molécula de mucho interés para el organismo, ya que ayuda a la absorción de vitaminas, es precursor en la formación de hormonas sexuales, ácidos biliares y vitamina D. Se



encuentra presente en las paredes de las membranas celulares. Lamentablemente el colesterol es considerado un problema grave debido a que es el responsable de causar la enfermedad aterosclerosis, enfermedad que provoca depósitos de lípidos en los vasos sanguíneos que provocan enfermedades cardiacas.

Las hormonas sexuales femeninas y masculinas presentan en su estructura química la forma básica del colesterol, es decir, el ciclopentanoperhidrofenantreno.

Progesterona y estradiol son hormonas presentes en las mujeres. Tienen diversas funciones en el sexo femenino: en el ciclo menstrual, el embarazo, apoyan la gestación, etc. La testosterona es la hormona masculina; se forma en los testículos del hombre. Es la responsable del normal crecimiento y desarrollo de los órganos sexuales masculinos.

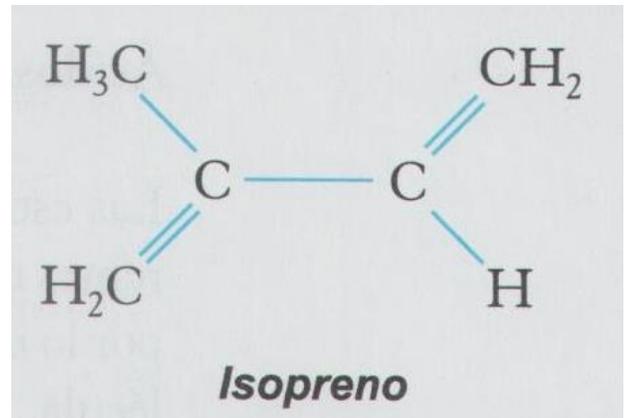
Existen otros esteroides: los anabólicos, que son utilizados por varios atletas para un mejor rendimiento en sus actividades de fuerza, por ejemplo levantadores de pesas, corredores de velocidad, lanzadores, etc. Estos compuestos son considerados como constructores del tejido muscular, sin embargo, son causantes de muchos desórdenes en el organismo desde un acné, atrofia del funcionamiento hepático, hasta cáncer de este órgano. Uno de los casos muy sonados fue el del atleta Ben Johnson, quien resultó positivo en los Juegos Olímpicos de Seúl 1988.

**Terpenos.** Son compuestos conformados por unidades de isopreno. Por ejemplo, los monoterpenos ( $C_{10}H_{16}$ ) están formados por dos unidades de isopreno, este tipo de compuestos pertenecen todos los grupos esenciales de las plantas aromáticas como laurel, tomillo, alcanfor. Estos compuestos son ampliamente utilizados en la industria de la perfumería, principalmente en la elaboración de aceites esenciales para aromaterapia.

Los **lípidos complejos** son estructuras difíciles de hidrolizar a sustancias más sencillas. La mayoría de estos compuestos son ésteres de ácidos carboxílicos de cadena larga denominados ácidos grasos, por ejemplo las ceras y los glicéridos.

Son todas aquellas sustancias que no son saponificables, es decir, que al calentarlas con una base fuerte rompen la parte ácida del grupo carboxílico ( $H^+$ ); pueden ser **fosfolípidos**, **esfingolípidos** y **ceras**.

**Fosfolípidos.** Son lípidos que tienen grupos derivados del ácido fosfórico; pueden ser los fosfoglicéridos y ácidos fosfatídicos. Los primeros son diésteres de ácido fosfórico mientras que los segundos provienen del ácido fosfatídico. Los fosfolípidos están presentes en los tejidos de plantas y animales; constituyen poco más del 50% de las membranas celulares. **[Figura 5.12]**



**Esfingolípidos.** Son sustancias cuya estructura principal es la esfingosina y se encuentran presentes en las plantas y en los animales; son comunes en el sistema nervioso. Por ejemplo, la mielina es una vaina membranosa constituida por esfingolípidos que rodea a los axones de las neuronas. Su estructura consiste en segmentos separados por nodos, promoviendo así los impulsos nerviosos. La esclerosis múltiple es una enfermedad que provoca incapacidad, ya que destruye la mielina provocando la formación de placas escleróticas que afectan el encéfalo y la médula espinal. Los pacientes con esta enfermedad padecen debilidad, falta de coordinación en sus movimientos y deficiencia en visión y habla.

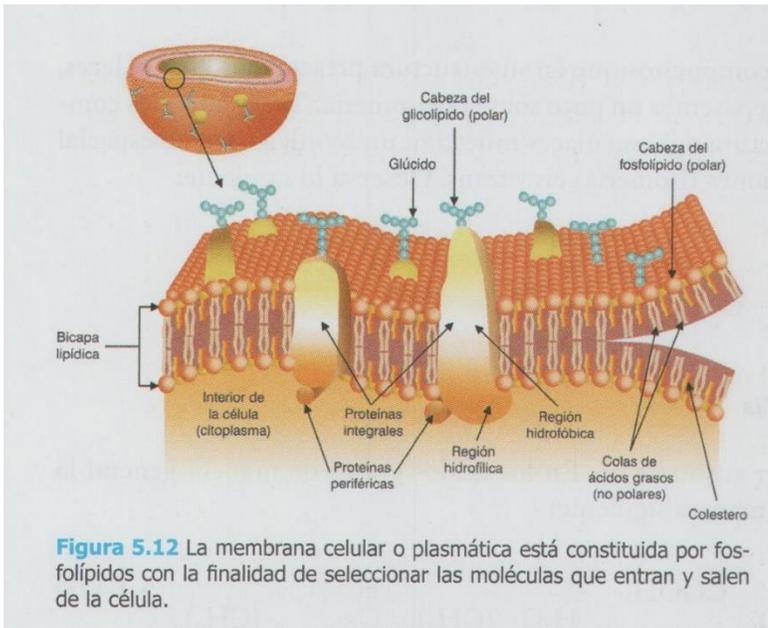
**Ceras.** Son cadenas largas de mezclas de ésteres de ácidos carboxílicos y alcoholes; funcionan como protectores de plantas y animales. En las plantas recubren las hojas, tallos y frutos, mientras que en los animales se encuentran presente en los pelos, plumas y piel.

Como todos los compuestos orgánicos, los ácidos grasos pueden ser **saturados** e **insaturados** (presenta isomería cis-trans). Los primeros nos indican que su cadena alifática son uniones carbono-carbono con enlaces sencillos (enlaces sigma); mientras que las cadenas insaturadas presentan dobles enlaces (enlaces pi). Este tipo de enlaces en los ácidos grasos es de mucha importancia en la industria de los alimentos, sin embargo, es causante de algunos desórdenes en la salud.

### Ácidos grasos saturados

Las estructuras de los enlaces sencillos sigma carbono-carbono son muy flexibles y adoptan diferentes conformaciones porque pueden realizar rotaciones, ya que no existe ningún impedimento, por lo que sus puntos de fusión van en aumento al incrementar la cantidad de carbonos en la molécula. Los ácidos palmíticos y estéaricos son los ácidos grasos más abundantes.

[Tabla 5.1]



**Figura 5.12** La membrana celular o plasmática está constituida por fosfolípidos con la finalidad de seleccionar las moléculas que entran y salen de la célula.

Nombre común	Nombre UIQPA	Estructura	Pf (°C)
Ácido láurico	Ácido dodecanoico	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{12} - \text{COOH}$	44.2
Ácido mirístico	Ácido tetradecanoico	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{14} - \text{COOH}$	52
Ácido palmítico	Ácido octadecanoico	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{16} - \text{COOH}$	63.1
Ácido esteárico	Ácido eicosanoico	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{18} - \text{COOH}$	69.1

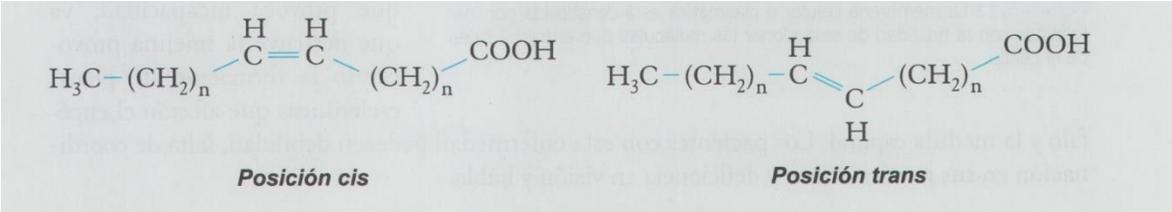
Ácido araquídico	Ácido docosanoico	$\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{20} - \text{COOH}$	75.4
------------------	-------------------	--	------

**Tabla 5.1** Algunos ácidos grasos saturados.

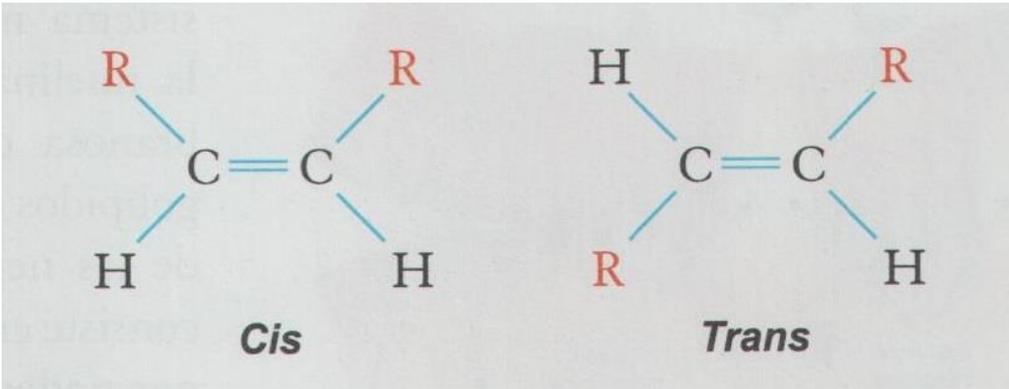
**Ácidos grasos insaturados**

Los ácidos grasos insaturados son compuestos que en su estructura presentan dobles enlaces, generando así isomería cis-trans. Repasemos un poco sobre esa isomería. Todos aquellos compuestos que presentan en su estructura dobles enlaces muestran un reordenamiento espacial de los átomos, manifestando posiciones (isomería) cis y trans. Observa lo siguiente:

Las letras R indican cualquier sustituyente. En los ácidos grasos de manera general la posición cis y trans quedaría de la manera siguiente:



Los ácidos grasos pueden tener una insaturación (monoinsaturados) o varias insaturaciones (poliinsaturados) debido a que presentan cadena policarbonadas, además de que la síntesis química ha logrado que en las cadenas se presenten diversas insaturaciones.



La UIQP A menciona que para escribir

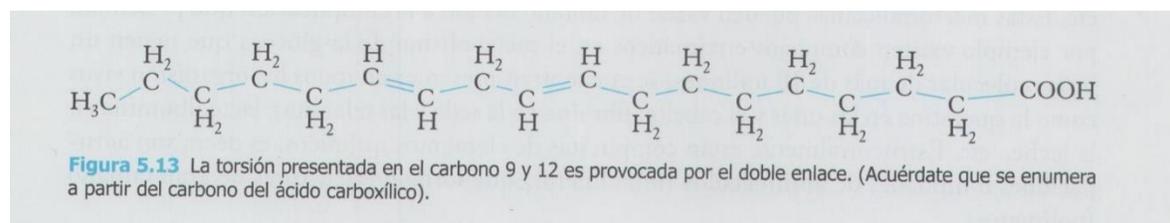
los nombres de estos tipos de ácidos insaturados se realiza lo siguiente: primeramente se debe escribir la palabra ácido, seguida del nombre común o

sistémico del ácido; posteriormente en un paréntesis se indica la posición del doble enlace, es decir, el número de lado izquierdo corresponde a la cantidad de carbonos que contiene; se escriben dos puntos, el número del lado derecho indica la cantidad de insaturaciones que tiene la cadena; después el superíndice indica la posición exacta donde se encuentran las insaturaciones. [Tabla 5.2]

Ácidos grasos insaturados (todos los dobles enlaces son cis)				
Símbolo	Nombre común	Nombre sistemático	Estructura	P.f. °C
16:1n-7	Ácido palmitoleico	Ácido 9-hexadecenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	-0.5
18:1n-9	Ácido oleico	Ácido 9-octadecenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13,2
18:2n-6	Ácido linoleico	Ácido 9, 12-octadecadienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-9
18:3n-3	Ácido $\alpha$ -linolénico	Ácido 9, 12, 15 – octadecatrienoico	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-17
18:3n-6	Ácido $\gamma$ -linolénico	Ácido 6, 9, 12 – octadecatrienoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$	
20:4n-6	Ácido araquidónico	Ácido 5, 8, 11, 14-eicosatetraenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49,5
20:5n-3	EPA	Ácido 5, 8, 11, 14, 17-eicosapentaenoico	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_5(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-54
22:6n-3	DHA	Ácido 4, 7, 10, 13, 16, 19-docosohexenoico	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_6\text{CH}_2\text{COOH}$	
24:1n-9	Ácido nervónico	Ácido 15-tetracosenoico	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	39

Tabla 5.2 Ejemplos de ácidos grasos insaturados.

Por ejemplo, para el ácido **palmitoleico** (18:2<sup>Δ9,12</sup>), las estructuras que presentan los dobles enlaces tienen una torsión, ya que los carbonos deben ordenar espacialmente los átomos y respetar las distancias y los ángulos cercanos a la forma tetraédrica. [Figura 5.13]



## Ácidos grasos trans

Los ácidos grasos insaturados de origen vegetal presentan mayormente insaturaciones de tipo cis, sin embargo, la industria de los alimentos utiliza el proceso de hidrogenación para solidificar las grasas que a temperatura ambiente son líquidas con la finalidad de incrementar la estabilidad del producto frente a la

oxidación. Esta técnica genera grandes cantidades de ácidos trans. Este tipo de grasas se encuentra presente en galletas saladas y dulces, margarinas, golosinas, frituras, botanas, barras de cereal, cereales pre-cocidos para niños, etc.

Un estudio poblacional realizado en los Estados Unidos estima que el riesgo a padecer problemas cardiovasculares es del 93%.

### Algunas funciones de los lípidos.

Lípidos	Función
Ácido graso	Fuente de energía metabólica y de componentes estructurales.
Eicosanoides	Regulan la concentración del músculo liso, respuesta antiinflamatoria y coagulación sanguínea.
Triglicéridos	Reserva energética
Glicerofosfolípidos	Componentes estructurales de las membranas biológicas; participación en la transducción de señales.
Fosfolípos	Componentes estructurales de las membranas.
Colesterol	Componente esencial de las membranas y precursor de las hormonas esteroidales, sales biliares y vitamina D.

### Proteínas

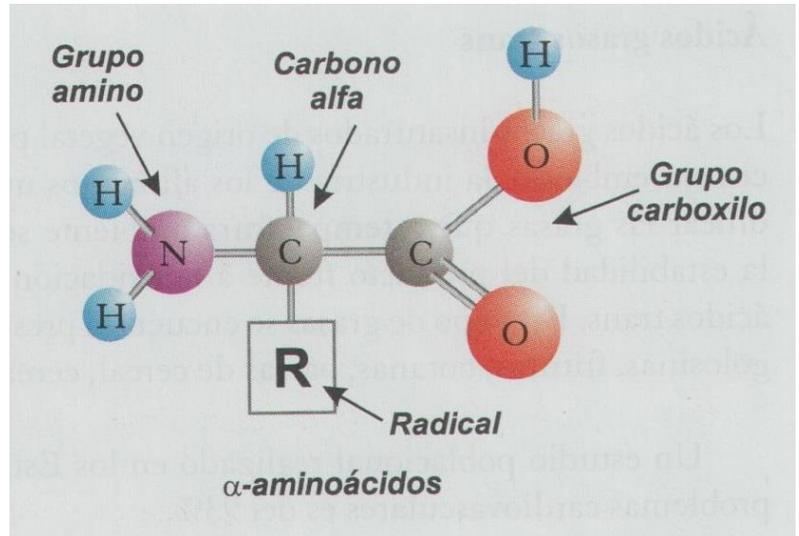
Cuando vemos que una persona tiene la piel, uñas y cabello bien cuidada, decimos que se «cuida la imagen». Esto se debe a la presencia y al buen funcionamiento de las proteínas en su cuerpo.

El término proteína deriva del griego *proteios*, que significa «primero». Las proteínas son moléculas muy complejas que están constituidas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; sin embargo podemos encontrar en sus moléculas azufre, fósforo, hierro, zinc, molibdeno, etc. Estas macromoléculas pueden variar de tamaño debido a la complicación que presentan, por ejemplo existen complejos enzimáticos en el metabolismo de la glucosa que tienen un peso molecular de más de 10 millones; se encuentran presentes en todos los organismos vivos como la queratina en las uñas y el cabello; fibroína en la seda y las telarañas; lactoalbúmina en la leche, etc. Estructuralmente están compuestas de elementos químicos, es decir, son agrupaciones o unidades de **aminoácidos** (monómeros) que forman estructuras de gran tamaño (polímeros).

Las proteínas son estructuras compuestas por unidades de aminoácidos. Estos son considerados eslabones que conforman al polímero (proteína); los aminoácidos tienen como característica principal que son bifuncionales porque poseen un grupo carboxilo (ácido) y un grupo amino (básico). Como te imaginarás, los aminoácidos son considerados moléculas **anfóteras**, ya que pueden reaccionar como ácidos o bases.

Una definición sencilla de proteína podemos describirla como: **estructura química poliamida constituida por más de 20 aminoácidos diferentes.**

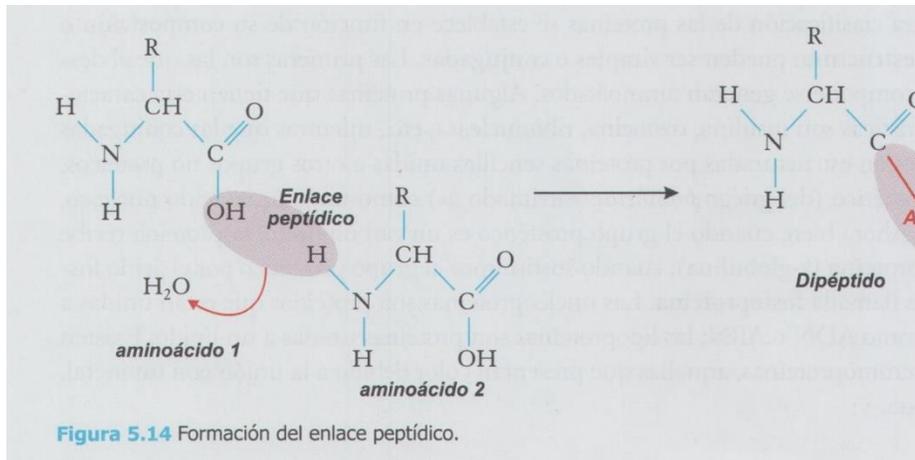
Entre los aminoácidos que forman las proteínas están: alanina, arginina, asparagina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, usina, metionina, fenilalanina, prolina, serina, treonina, triptófano, tirosina y valina. **[Tabla 5.3]** Todas estas moléculas presentan la estructura base. Observa la estructura anterior.



Como ya hemos visto, en la formación de polímeros los aminoácidos pueden unirse con otros mediante enlaces covalentes. Esto se basa en la formación de amidas, ya que la reacción se realiza con el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo α-amino de otro aminoácido con liberación de molécula de agua, formando un enlace peptídico; en una proteína pueden existir más de cien uniones peptídicas para formar una cadena polipeptídica. **[Figura 5.14]**

Estructura	Estructura
$\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{COO}^- \\   \\ \text{NH}_2^+ \\ \text{Alanina (ALA)} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\    \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NH} \qquad \qquad \qquad \text{NH}_2^+ \\ \text{Arginina (ARG)} \end{array}$
$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\    \qquad \qquad \qquad   \\ \text{O} \qquad \qquad \qquad \text{NH}_3^+ \\ \text{Asparagina (ASP)} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{COO}^- \\   \\ \text{NH}_3^+ \\ \text{Ác. aspártico (ASP)} \end{array}$

**Tabla 5.3** Algunos aminoácidos importantes para el organismo.



## Clasificación de las proteínas

Debido a la complejidad de sus estructuras, existen tres tipos de clasificaciones:

1. Por su **conformación** pueden ser: proteínas fibrosas y proteínas globulares.
2. Por su **composición**, se dividen en sencillas y conjugadas.
3. Por su **estructura química**, en fibrosas y globulares.

Las **proteínas fibrosas** se forman en tiras de cadena larga, y sin ramificaciones fuertes, insolubles en agua pero solubles en soluciones ácidas y básicas fuertes, que se enlazan unas con otras paralelamente. Su función principal es formar las partes estructurales del organismo; crean las estructuras de los cabellos, pezuñas, uñas, piel, lana, plumas, cuernos, tendones y los músculos; las más representativas son el colágeno y la queratina. **[Ilustración 5.6]**

**Proteínas globulares.** Éstas presentan estructuras más complejas, de modo que forman unidades de tipo esférico. Forman parte de las enzimas, hormonas o proteínas del transporte, por ejemplo: son la hemoglobina de la sangre, la albúmina de los huevos, la insulina que se encuentra en el páncreas, la tiroglobulina de la tiroides y otras; se encuentran en la carne, la leche, el huevo, etc.

Cuando cocinas un huevo, puedes observar que la clara se torna blanca. Este efecto se debe a la desnaturalización de las proteínas por efecto del calentamiento. La clara de huevo presenta, como se mencionó anteriormente, proteínas globulares albúmina, cuya estructura química al ser sometida al calor se despliega y coagula formando así una masa sólida blanca. **[Ilustración 5.7]**

Otra técnica para desnaturalizar las proteínas es la acción del pH ácido, ya que forma coágulos. Por ejemplo cuando añades limón a



**Ilustración 5.6** En la actualidad, existen productos enriquecidos con colágeno, ya que es una sustancia natural que se encuentra en la piel, donde actúa como soporte del sistema.

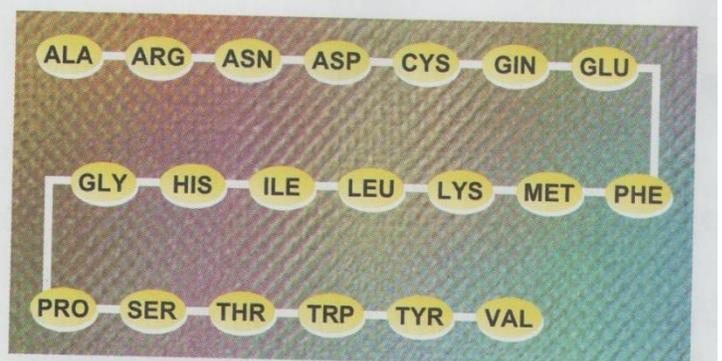
la leche, se dice que se «corta», es decir, existe cierta precipitación. Esto se debe a que el ácido carboxílico pierde su carga iónica al efecto de los protones ácidos (H<sup>+</sup>).

Otra clasificación de las proteínas se establece en función de su **composición** o **estructura**, pueden ser **simples** o **conjugadas**. Las primeras son las que al descomponerse generan aminoácidos. Algunas proteínas que tienen estas características son insulina, oxitocina, ribonucleasa, etc., mientras que las conjugadas están estructuradas por proteínas sencillas unidas a otros grupos no proteicos, llamados **grupo prostético** (del griego *prosthetos*: «arrimado a») como un azúcar, ácido nucleico, lípido, entre otros. Ahora bien, cuando el grupo prostético es un carbohidrato, la proteína recibe el nombre de **glicoproteína** ( $\gamma$ -globulina); cuando sustituimos al grupo prostético por el ácido fosfórico, la proteína es llamada **fosfoproteína**. Las nucleoproteínas son proteínas que están unidas a un ácido nucleico como ADN o ARN; las lipoproteínas son proteínas unidas a un lípido. Existen proteínas llamadas cromoproteínas, aquellas que presentan color debido a la unión con un metal, como la hemoglobina.

### Estructura de las proteínas

Sabemos que presentan movimiento libres, ya que el doble enlace presenta una nube electrónica, lo que nos hace pensar que sucederá un reacomodo de ángulos de enlace de la molécula dipéptido, y si esto sucede con dos moléculas imaginemos cuando se presentan más de cien uniones peptídicas. Por el reacomodo espacial que presentan las interacciones de enlaces, de hidrógenos del grupo amida, así como el ordenamiento que tienen los átomos de carbono para tratar de conservar la forma tetraédrica, naturaleza y secuencia de cada aminoácido, todas estas características harán que adopte diversas formas: **primaria, secundaria, terciaria, y cuaternaria.** [Figura 5.15]

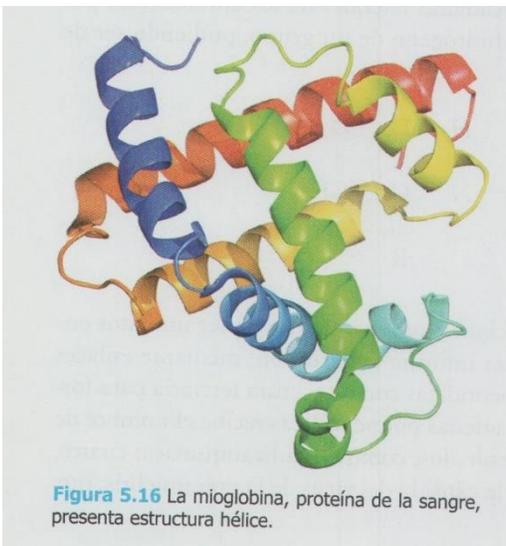
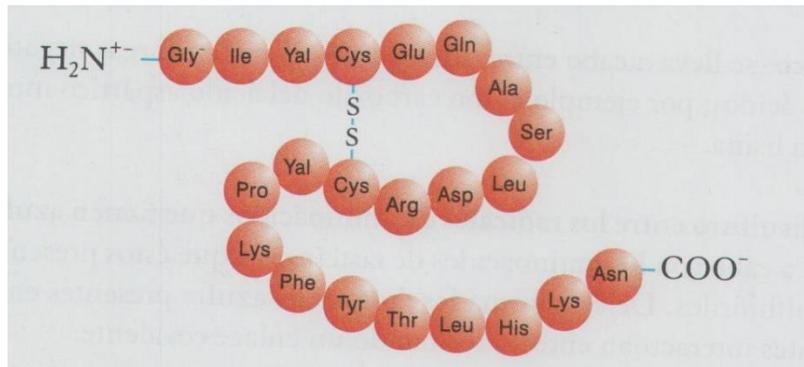
Para realizar el estudio completo de la estructura y la conformación de las proteínas, se ha propuesto la siguiente clasificación o sistema:



**Figura 5.15** La estructura de una proteína depende de los aminoácidos que la integran, el tipo de enlace en su distribución, la conformación que adoptan por las atracciones electrostáticas entre los grupos ácidos y aminos, así como de las interacciones de los puentes hidrógeno.

- a) **Estructura primaria.** El bioquímico inglés Frederick Sanger determinó por primera vez la secuencia de aminoácidos y descubrió la estructura primaria de la **insulina** en 1953; estableció que las proteínas presentan estructuras covalentes únicas. Este tipo de estructura está relacionada con el número de aminoácidos que la integran, así como la secuencia de ellos en la cadena proteínica. Esta información es fundamental para estudiar las enfermedades genéticas.

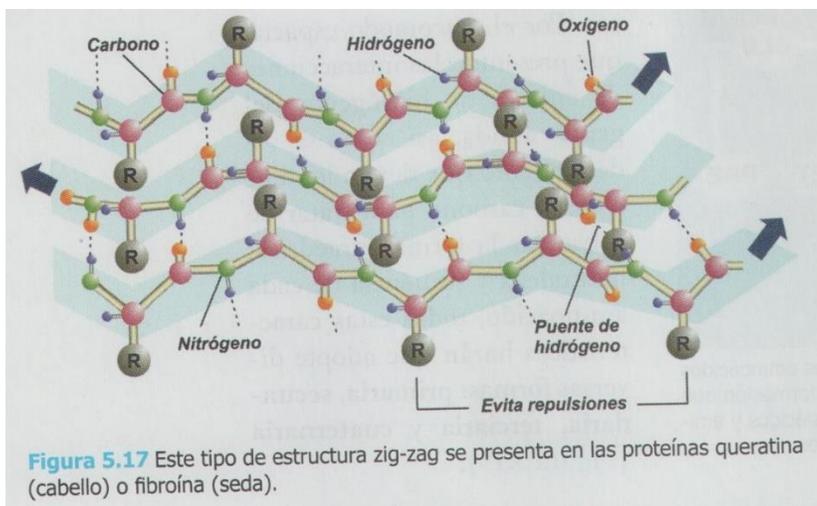
b) **Estructura**



**secundaria.** Es la disposición de aminoácidos en el espacio. Está relacionada con la conformación de las cadenas y se produce por las distintas interacciones que realizan los grupos funcionales en las distintas cadenas, como es el caso de la interacción que adoptan los átomos de oxígeno del grupo carbonilo con los hidrógenos del grupo amida. Existen dos ordenamientos moleculares de las proteínas, debido a la acción de los hidrógenos. La conformaciones se conocen como **hélice α** [Figura 5.16] (esta estructura se forma al enrollarse helicoidalmente sobre sí misma la estructura primaria y se debe a la formación de enlaces de hidrógeno en el -C=O de un aminoácido y el -NH- del cuarto aminoácido que le sigue); y **laminas**

**plegadas** en esta disposición los aminoácidos no forman una hélice, sino una cadena en forma de zig-zag, denomina disposición en lámina plegada. [Figura 5.17]

- c) **Estructura terciaria.** Es la conformación tridimensional de todos los átomos de la molécula. Estudia el plegamiento total de la cadena proteínica. Partes de la proteína pueden tener una estructura α-helicoidal, mientras que



partes pueden presentar enrollamiento al azar. El enrollamiento de una enzima puede producir acción catalítica debido a las cadenas laterales polares hidrofílicas. Éstas presentan orientación hacia la parte externa del glóbulo, mientras que las no polares (hidrofóbicas) están dispuestos hacia el interior. El enrollamiento en cualquier conformación específica

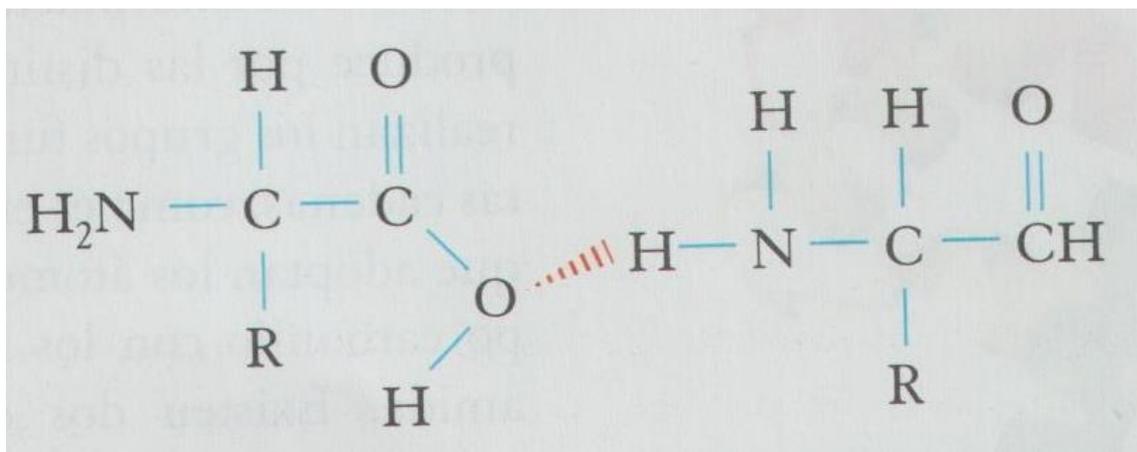
permite que una región determinada de la enzima, llamada **sitio activo**, se una al sustrato y catalice la reacción.

Esta conformación globular se mantiene estable gracias a la existencia de enlaces entre los **radicales R** de los aminoácidos, donde aparecen diferentes tipos de enlaces; por ejemplo:

**Enlace iónico:** se lleva a cabo entre grupos que presentan cargas negativas y positivas en los aminoácidos ácidos; por ejemplo el ión carboxilo del ácido aspártico interactuará con el ión amonio de la lisina.

**El puente disulfuro entre los radicales de aminoácidos que tienen azufre:** este tipo de estructura se lleva a cabo con los aminoácidos de cisteína, ya que éstos presentan una oxidación en los grupos sulfhidrilos. De esta forma los átomos de azufre presentes en dos moléculas de cisteínas diferentes interactúan entre sí formando un enlace covalente.

**Los puentes de hidrógeno** se forman entre las cadenas laterales de los aminoácidos polares, es decir, el oxígeno del grupo carboxílico y el hidrógeno de un grupo, pudiendo ser de amina o de hidroxilo.



- d) **Estructura cuaternaria.** Se refiere a las interacciones, ordenamientos y plegamientos entre dos o más cadenas proteicas. Esta estructura informa de la unión, mediante enlaces débiles (no covalentes), de varias cadenas polipeptídicas con estructura terciaria para formar un complejo proteico. Cada una de estas cadenas polipeptídicas recibe el nombre de **protómero**. El número de protómeros varía desde dos, como en la hexoquinasa; cuatro, como en la hemoglobina, hasta muchos, como la cápsida del virus de la poliomielitis, que consta de sesenta unidades proteicas.

Para que una proteína presente una actividad biológica debe tener una estructura correcta en todos los niveles:

- Precisión en la secuencia de aminoácidos.
- Presencia de estructuras secundarias y terciarias.
- La proteína debe plegarse en su conformación natural: hélice  $\alpha$  y lámina plegada.
- Las proteínas conjugadas.

### **1. Función estructural**

Algunas proteínas constituyen estructuras celulares.

Ciertas glucoproteínas forman parte de las membranas celulares y actúan como receptores o facilitan el transporte de sustancias.

Las histonas son proteínas que forman parte de los cromosomas que regulan la expresión de los genes. Otras proteínas confieren elasticidad y resistencia a órganos y tejidos, por ejemplo el colágeno del tejido conjuntivo fibroso, que es el componente principal del cartílago y de la piel.

La elastina del tejido conjuntivo elástico tiene la función de dar elasticidad a los tejidos.

La queratina, que es la responsable de la dureza de las uñas.

Las arañas y los gusanos de seda segregan fibroína para fabricar las telas de araña y los capullos de seda, respectivamente.

### **2. Función enzimática**

Las proteínas con función enzimática son las más numerosas y especializadas. Éstas actúan como biocatalizadores de las reacciones químicas del metabolismo celular.

### **3. Función hormonal**

Existen sustancias de naturaleza proteica, como la insulina y el glucagón (que regulan los niveles de glucosa en la sangre), o las hormonas segregadas por la hipófisis, como la del crecimiento o la adrenocorticotrópica (que regula la síntesis de corticosteroides) o la calcitonina (que regula el metabolismo del calcio).

#### **4. Función reguladora**

Algunas proteínas regulan la expresión de ciertos genes y otras regulan la división celular (como la ciclina).

#### **5. Función homeostática**

Estas proteínas mantienen el equilibrio osmótico y actúan junto con otros sistemas amortiguadores para mantener constante el pH del medio interno de la célula.

#### **6. Función defensiva**

Las inmunoglobulinas actúan como anticuerpos (que proveen la llamada respuesta humoral) frente a posibles antígenos (sustancias que inducen la formación de anticuerpos).

La trombina y el fibrinógeno contribuyen a la formación de coágulos sanguíneos para evitar hemorragias. Las mucinas tienen efecto germicida y protegen a las mucosas.

#### **7. Función de transporte**

El oxígeno que respiramos es transportado en la sangre al resto del organismo por una proteína llamada hemoglobina. La hemocianina transporta oxígeno en la sangre de los invertebrados.

Las lipoproteínas transportan lípidos por la sangre. Los citocromos transportan electrones. El hierro es almacenado dentro del organismo en el hígado, formando un complejo con una proteína llamada ferritina.

#### **8. Función contráctil**

La actina y la miosina constituyen las miofibrillas responsables de la contracción muscular.

La dineína está relacionada con el movimiento de cilios y flagelos.

#### **9. Función de reserva**

La gliadina del grano de trigo y la hordeína de la cebada constituyen la reserva de aminoácidos para el desarrollo del embrión.

### **Ácidos nucleicos**

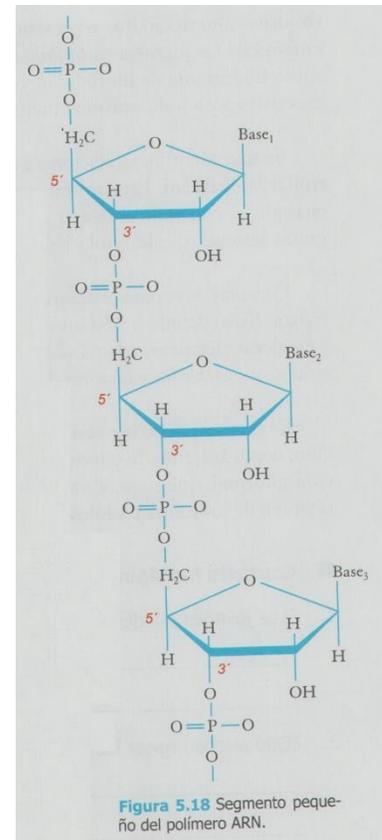
La información genética que poseemos son partes del ADN presentes específicamente en los ácidos nucleicos. Estas estructuras son compuestos químicos, biopolímeros sustituidos de la aldopentosa ribosa. Los más importantes son los **ácidos ribonucleicos (ARN)** y **ácidos desoxirribonucleicos (ADN)**, que se encuentra en el núcleo de las células, donde lleva el código genético, presenta un peso molecular entre 6 y 16 millones de una; mientras que el ARN presenta una masa molecular entre 20 000 y 40 000 una; se localiza fuera del núcleo, en el citoplasma.

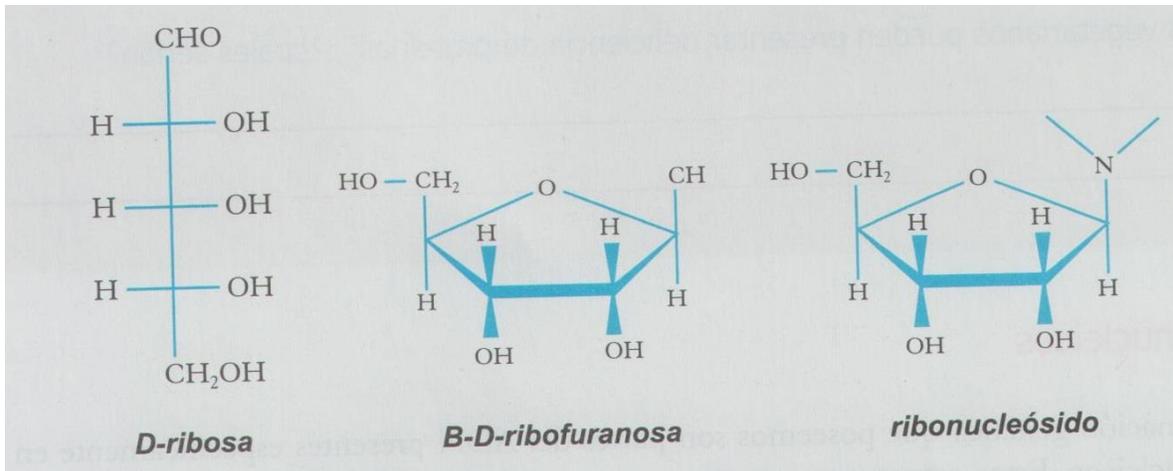
Los ácidos nucleicos están conformados por polímeros de anillos de ribofuranósido (anillo conformado por 5 miembros de ribosa) unidos mediante grupos fosfatos. Las unidades de ribosa unidas a una base heterocíclica proporcionan parte de la información que indicará al aminoácido «la posición correspondiente» en la síntesis de proteínas. **[Figura 5.18]**

Como se mencionó anteriormente, los ácidos nucleicos son polímeros constituidos por **nucleótidos** unidos entre sí que forman cadenas largas capaces de presentar miles o millones en masa molar. Cada nucleótido está compuesto por un **nucleósido** unido a un grupo fosfato, y cada nucleósido está conformado de un azúcar aldopentosa unida a través de su carbono anomérico al átomo de nitrógeno de una base heterocíclica de purina o pirimidina.

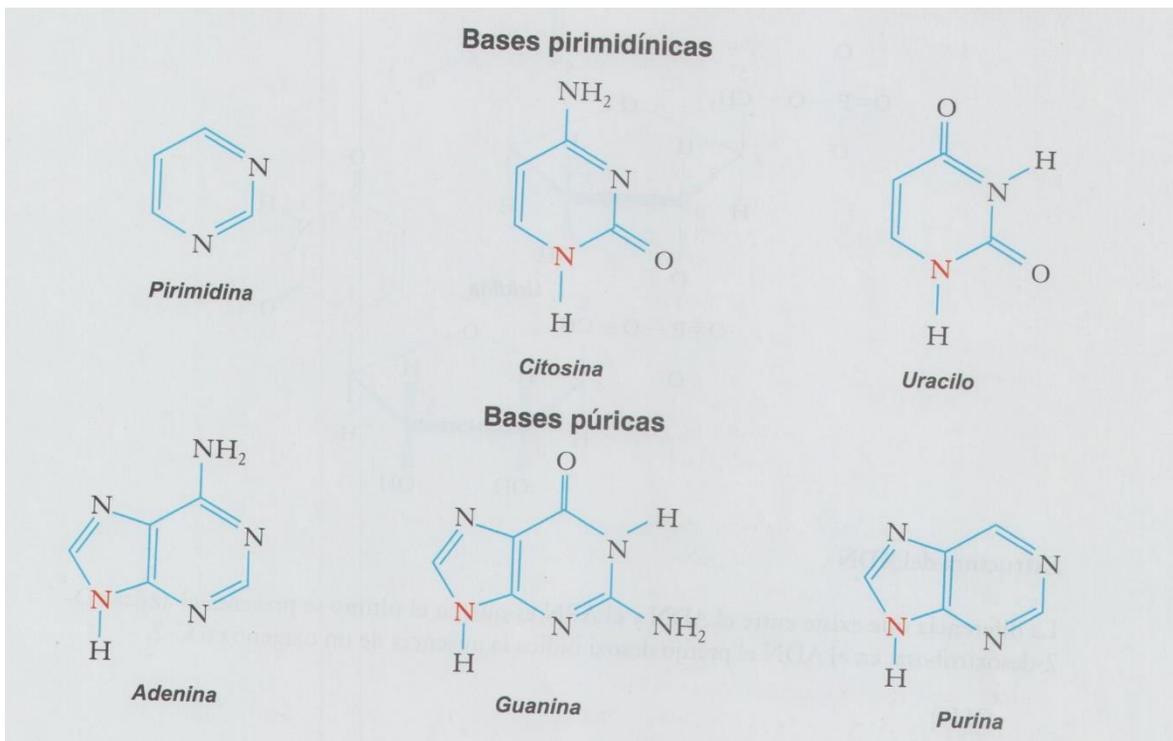
Los nucleótidos tienen la capacidad de codificar la información sobre el desarrollo de la vida del individuo. Para estudiarlos es necesario conocer los monómeros, después la forma en que se unen para formar los ácidos nucleicos y finalmente cómo se forma la estructura del ADN.

Los nucleósidos son glicósidos de D-ribofuranosa, pero pueden tener una aglicona, es decir, sustituyentes en posición del carbono anomérico enlazado por un átomo de nitrógeno.





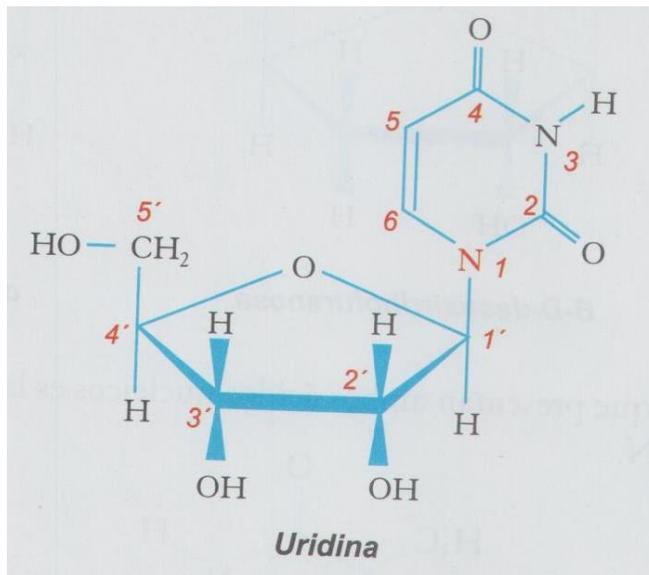
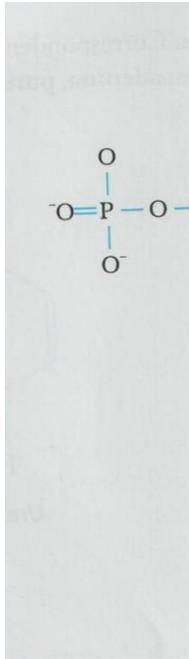
El ADN presenta cuatro bases amino distintas, es decir, dos purinas sustituidas (adenina y guanina) y dos pirimidinas sustituidas (citosina y timina); las tres primeras también se encuentran en el ARN, más la pirimidina llamada uracilo. Las bases nitrogenadas se dividen en **pirimidínicas** y **púricas**, las primeras son monocíclicas. Corresponden a pirimidina, citosina y uracilo, mientras que las púricas son compuestos bicíclo: **adenina**, **purina** y **guanina**.



Cuando la ribosa se une al nitrógeno del grupo amino dan lugar a cuatro ribonucleósidos, es decir, citidina, uridina, adenosina y guanina; la numeración de ambos ciclos debe ser por separado, ejemplo:

El ARN está conformado por ribonucleósidos que se enlazan formando así el polímero mediante enlaces fosfato. El grupo hidroxilo del carbono 5' de cada ribofuranósido reacciona con el ácido fosfórico (reacción de esterificación) formando así un ribonucleótido, por ejemplo el monofosfato de citidina.

Para formar el ARN se llevan a cabo interacciones que presentan el carbono 5' del grupo fosfato y el hidroxilo presente en el carbono 3', presentes en la ribosa. Si unimos dos uracilos tendremos:



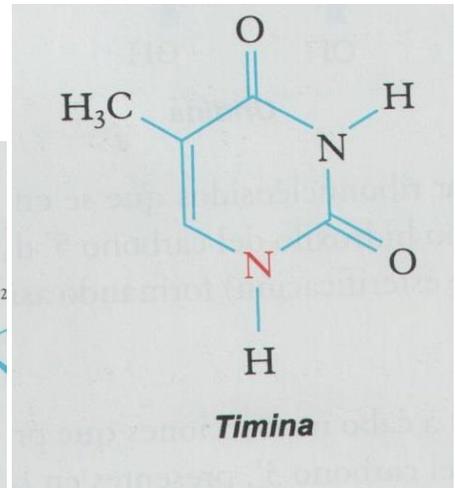
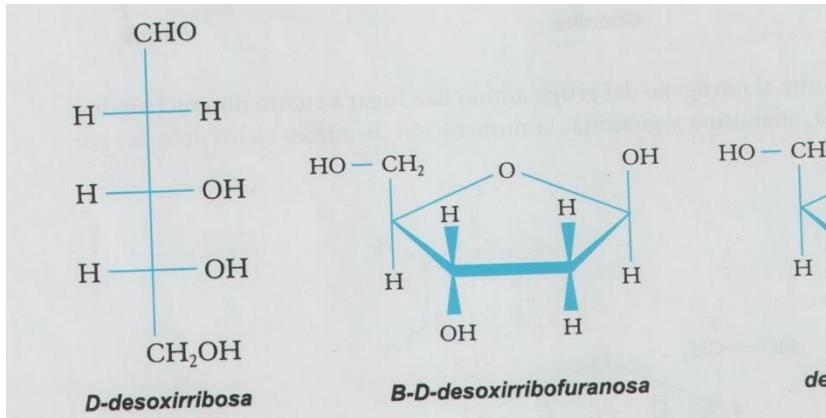
### Estructura

La diferencia  
ADN y el

### del ADN

que existe entre el  
ARN es que en el

último se presenta el azúcar D-2-desoxirribosa; en el ADN el prefijo desoxi indica la ausencia de un oxígeno en C-2.



Otra diferenciación que presentan ambos ácidos nucleicos es la presencia de **timina** en el ADN y uracilo en el ARN.

El polímero ADN es similar al ARN a excepción de la deficiencia del oxígeno en el carbono 2, por lo que se presenta la unión del grupo fosfato formando así el esqueleto de la molécula.

Después de lo que hemos abordado, nos falta por ver la transcripción de los nucleótidos. Esto se lleva a cabo por la interacción de los enlaces de hidrógeno entre pares de bases específicas.

Por ejemplo: la citosina forma un par, unido por tres enlaces de hidrógeno, con la guanina; la timina forma un par, unido por dos enlaces de hidrógeno, con la adenina. Esta formación de pares fue mediante la hipótesis de Erwin Chargaff, quien observó que varias células de diferentes especies presentaban la misma cantidad de adenina-timina y guanina-citosina.

### **Funciones de los nucleótidos**

El AMP **monofosfato de adenosina** se encarga de la transmisión y ampliación de las señales químicas de las hormonas.

**NAD coenzima.** Su actividad principal es fungir como reactivo en las reacciones redox de los sistemas biológicos, por lo que una alimentación baja en niacina desarrolla la enfermedad de pelagra (incapacidad de sintetizar NAD).

**ATP.** Fuente de energía cuando se oxida la glucosa en las células de los seres vivos; la energía liberada se usa para formar ATP

## **5.3 MACROMOLÉCULAS SINTÉTICAS**

Cada vez que surge el lanzamiento de algo novedoso que brinda bienestar y confort, tratamos de disfrutarlo al máximo y no nos ocupamos en los efectos nocivos que pueda ocasionar a la naturaleza. Lamentablemente con el paso de los años, nos damos cuenta de sus efectos. Esto sucedió con los plásticos, unicel, etc. **[Ilustración 5.8]**

*«Antes de haberlo hecho, debió pensarse en el desecho»*

Todo se inició con base en los estudios del sueco Jöns Jacob Berzelius, quien implementó el término **polímero** (del griego *Poly* y *Meros*, que significa «muchas partes»), para clasificar a todas aquellas sustancias que presentaran elevados pesos moleculares.

Sabemos que las macromoléculas están compuestas por polímeros, grandes moléculas que se constituyen a partir de la unión en una cadena de un gran número de pequeñas moléculas llamadas **monómeros**; éstos son pequeñas unidades repetitivas que reaccionan químicamente hasta formar una macromolécula. Los polímeros se obtienen por las reacciones de **polimerización**.

En la naturaleza existen macromoléculas constituidas por polímeros y éstos a su vez conformados por miles de unidades (monómeros) unidas mediante enlaces covalentes. Sabemos que el hombre se ha caracterizado por ser un imitador de la naturaleza y ha creado macromoléculas sintéticas a partir de los enlaces carbono-carbono.

La repetición de unidades de monómero puede presentarse en forma lineal, ramificada o interconectada para formar redes tridimensionales.

### **El nacimiento de los polímeros sintéticos**

Se cree que la celulosa fue el primer polímero que se formó mediante la reacción de ácido nítrico y algodón, formando así el compuesto de nitrato de celulosa. Al principio se utilizó como pólvora debido a su explosividad, sin embargo, vieron que podían fabricar bolas de billar.

Posteriormente, hicieron reaccionar el ácido acético con la celulosa, lo cual formó acetato de celulosa, ampliamente utilizada en las grabaciones de películas.

Los hermanos Nelson y Charles Goodyear transformaron el caucho obtenido de extractos de la planta *Hevea brasiliensis* en un material termoplástico pegajoso, es decir, en un elastómero. Esto lo realizaron mediante el calentamiento de una mezcla de goma de la planta con azufre y blanco de plomo, descubriendo así el proceso de **vulcanización**.

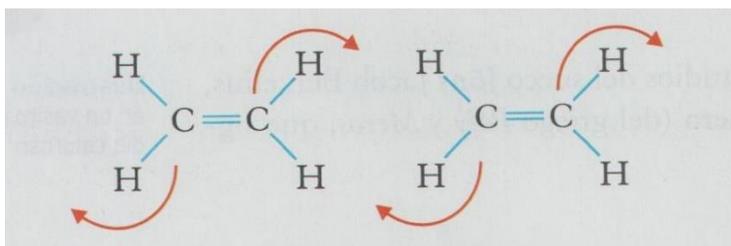


**Ilustración 5.8** Saborear un buen café en un vasito de unicel o tomar agua en un día caluroso ¡suena fantástico!

Los diferentes procesos de polimerización pueden agruparse en dos categorías: polímeros de adición y polímeros de condensación.

### Polímeros de adición

Los polímeros que se forman mediante esta reacción son llamados **polímeros de adición**. Éstos son formados a partir de la unión de moléculas monoméricas insaturadas y con apertura de su doble enlace; un ejemplo muy sencillo es la formación de moléculas de polietileno a partir de moléculas de etileno; consiste en el rompimiento del doble enlace utilizando para esto catalizadores como la mezcla de trietil aluminio,  $R_3Al$ , y tetracloruro de titanio,  $TiCl_4$ . El etileno se polimeriza formando así cadenas que presentan más de 800 átomos de carbono.



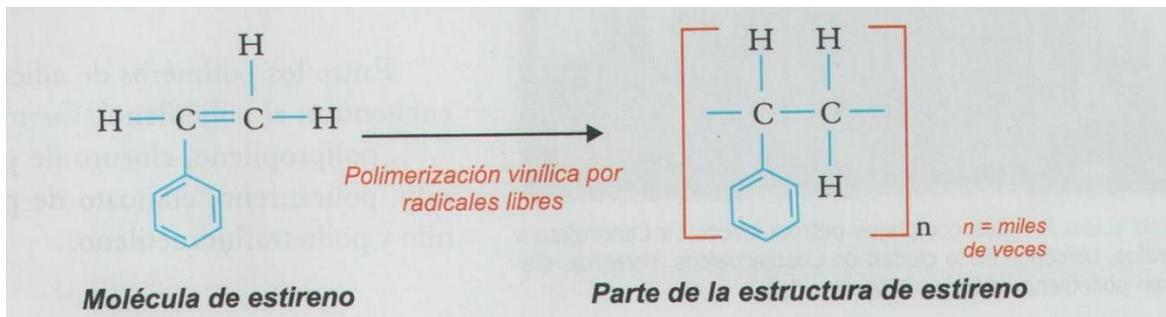
El **polietileno** es un material muy importante; en Estados Unidos se producen más de 20 000 millones de libras al año. Con ese polímero se fabrican las bolsas de almacén, frascos de champú, juguetes e incluso chalecos a prueba de balas.

Entre los polímeros de adición se encuentran el polietileno, polipropileno, cloruro de polivinilo, poliestireno, etanoato de polivinilo y politetrafluoroetileno.

El **polipropileno** es el polímero más común en nuestros días. Está formado por unidades de metililenos y se produce mediante la reacción de polimerización utilizando como catalizador Ziegler-Natta, complejo organometálico que generalmente tiene aluminio y titanio, donde se obtiene polietileno de alta densidad, considerado más fuerte; puede encontrarse como plástico y como fibra.

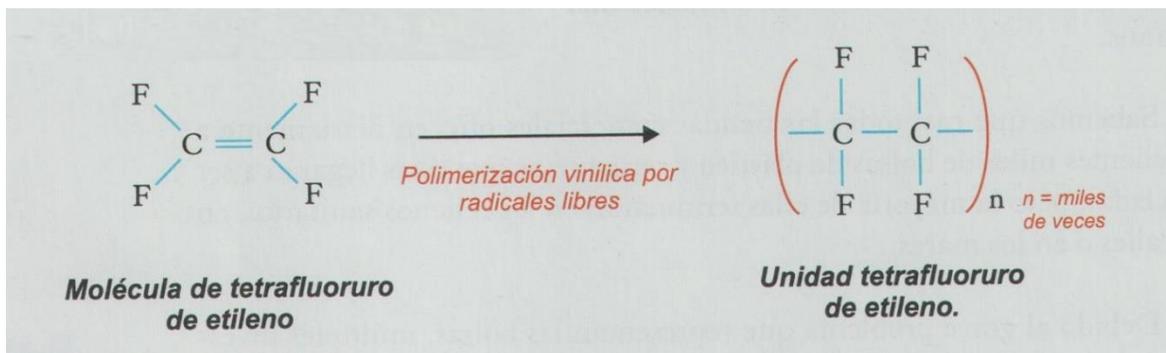
Como plástico, se utiliza para fabricar envases para alimentos; y como fibra, para hacer alfombras de interior y exterior; por ejemplo, alfombra imitación de pasto de jardín, canchas de ping pong y los costales conocidos como arpillas.

El **poliestireno** es una larga cadena hidrocarbonada, con un grupo fenilo unido cada dos átomos de carbono. Es producido por una polimerización vinílica por radicales libre a partir del monómero estireno.



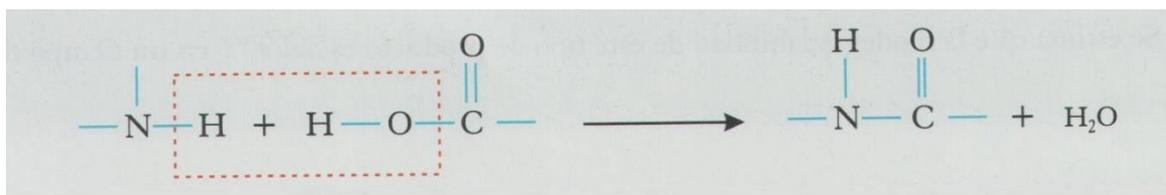
Ejemplos de esto son la cubierta exterior de las computadoras, las maquetas de autos y aviones, las tazas de plástico transparente, así como una gran cantidad de partes moldeadas en el interior de los autos, como los botones de la radio, los juguetes y las secadoras de cabello, etc. El poliestireno también se presenta en forma de espuma y aislantes llamados unicel.

Otro polímero es el **politetrafluoroetileno**, se utiliza para fabricar recubrimiento plástico en sartenes y utensilios de cocina; también para tratar alfombras y para hacer telas resistentes a las manchas. En medicina, se emplea para fabricar piezas artificiales del cuerpo, ya que raramente el politetrafluoroetileno es rechazado por el organismo, así como en la fabricación de piezas en el laboratorio de química.

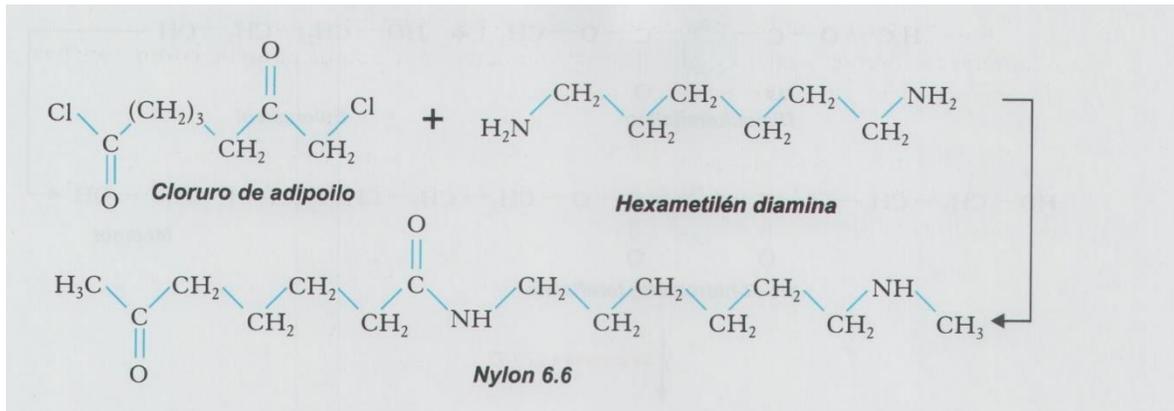


### Polímeros de condensación.

En la **polimerización por condensación**, los monómeros se unen con la eliminación simultánea de átomos o grupos de átomos más pequeños. Las condensaciones más frecuentes implican la formación de amidas y ésteres. Por ejemplo, un compuesto que presenta un grupo amino reacciona con un ácido carboxílico para formar un enlace entre N y C, formando así la molécula del agua. Observa la reacción:



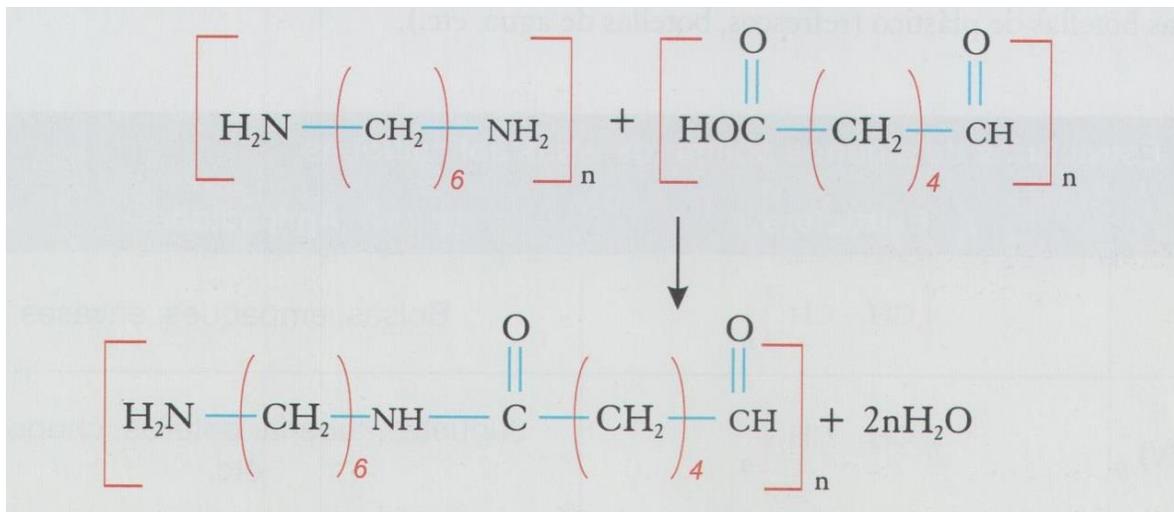
Los polímeros que se forman a partir de monómeros diferentes se llaman **copolímeros**. En la formación del nailon (compuesto llamado diamina, conocida así porque en la estructura presenta aminas en los extremos) se hace reaccionar un diácido (compuesto que presenta dos —COOH) en cada extremo. El nailon 6,6 se forma cuando la diamina reacciona con el ácido adípico, formando así lo siguiente:



Algunos polímeros típicos de condensación son el nailon, los poliuretanos y los poliésteres.

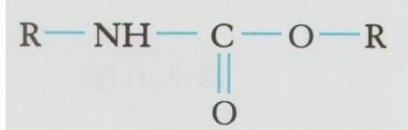
El **nailon** es uno de los polímeros más comunes usados como fibra. Siempre encontramos nailon en nuestros artículos de uso diario, pero también en otros lugares, en forma de termoplásticos. En 1940 creció su empleo para la confección de medias femeninas. Fue un gran suceso, pero pronto se hicieron muy difíciles de conseguir, porque al año siguiente Estados Unidos entró en la Segunda Guerra Mundial y el nailon fue necesario para hacer material de guerra, como cuerdas y paracaídas. Pero antes de éstos, el primer producto de nailon fue el cepillo de dientes con cerdas de ese material.

En una planta industrial de nailon, generalmente se fabrica haciendo reaccionar el ácido adípico con la hexametilén diamina:



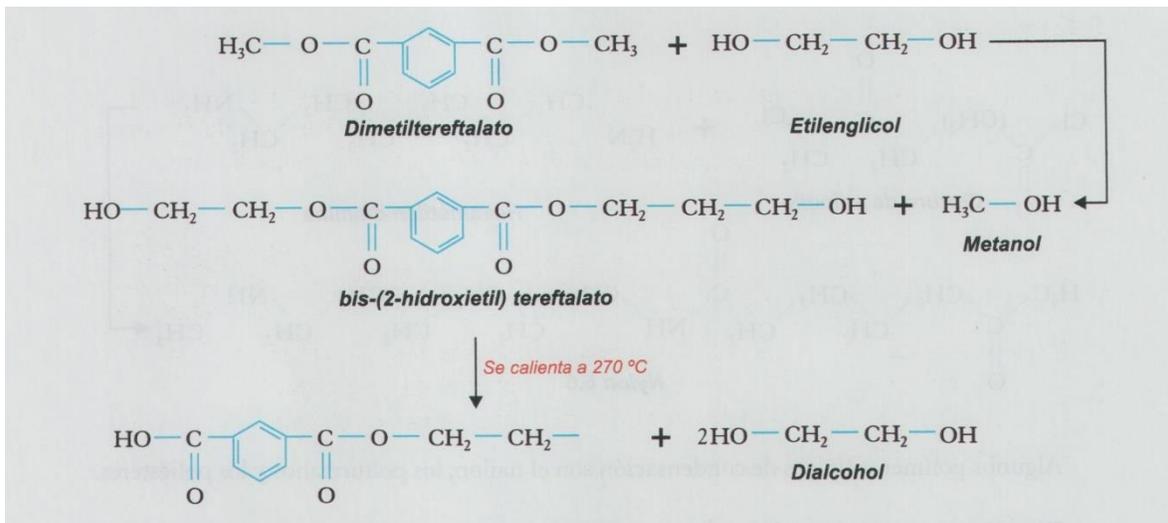
El nailon es utilizado en la fabricación de ropa interior, ropa deportiva, medias, mochilas etcétera.

Los **poliuretanos** son los polímeros de mayor utilidad para hacer espumas, tapiz de sillas y almohadones; pueden ser elastómeros, pinturas, fibras y adhesivos. Los poliuretanos se conocen así porque en su cadena principal contienen enlaces uretano. **[Figura 5.19]**



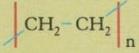
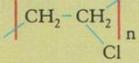
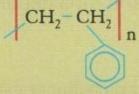
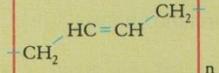
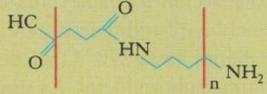
**Figura 5.19** Fórmula general del monómero uretano.

La **síntesis de los poliuretanos** se empieza utilizando dimetil tereftalato; éste se hace reaccionar con etilenglicol a través de una reacción llamada **trans-esterificación**. El producto principal en esta reacción es el bis-(2-hidroxi-etil) tereftalato (se obtiene metanol como subproducto); éste se calienta hasta 270 °C y reacciona para dar el poli (etilén tereftalato) y el etilenglicol como subproductos. La siguiente ecuación muestra lo anteriormente expuesto:



La mayoría de la ropa que utilizamos está compuesta de **poliéster**. La característica de las prendas que presentan dicho polímero es que no se arrugan. El compuesto más común es el Dacrón, polímero constituido por el ácido tereftálico cuyo nombre UIQPA es ácido-p-ftálico o ácido benceno -1,4-dicarboxílico, y el etilenglicol. Ambos se calentaban para eliminar el agua. **[Tabla 5.4]** En la actualidad se utiliza la técnica de transesterificación, que consiste en calentar el éster dimetílico del ácido tereftálico a 150 °C con etilenglicol, con lo cual se elimina metanol en estado gaseoso, completando así la reacción.

El **poli** (tereftalato de etileno) también llamado **PET** (por sus siglas en inglés) es utilizado para formar las botellas de plástico (refrescos, botellas de agua, etc.).

Estructuras de algunos polímeros y sus aplicaciones		
Nombre	Estructura	Aplicaciones
Poliétileno (PE)		Bolsas, empaques, envases
Cloruro de polivinilo (CPV)		Juguetes, tubería, botellas, chupones, etc.
Poliestireno (PS)		Vasos, envases
Polibutadieno (PB)		Adhesivos, recubrimientos, chupones
Nailon 66		Fibras

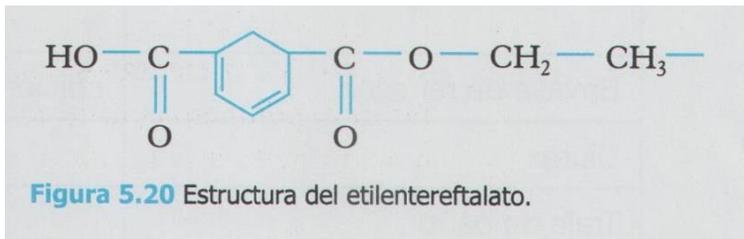
**Tabla 5.4** Estructuras de algunos polímeros y sus aplicaciones.

## Policarbonatos

Estas estructuras están conformadas por el carbonato de dialquilo; en sí son ésteres del ácido carbónico. El ácido carbónico es un diácido con dioles forma ésteres. Por ejemplo el fosgeno (dicloruro del ácido carbónico) reacciona con el dialcohol, formándose el policarbonato.

Los **poliésteres** son los polímeros en forma de fibras y plásticos que fueron utilizados en los años 70 para confeccionar toda la ropa de bañables.

Los poliésteres tienen cadenas hidrocarbonadas que contienen uniones éster; de ahí su nombre etilentereftalato. **[Figura 5.20]**



El **dacrón** es un poliéster que se obtiene a partir de ácido tereftálico y etilenglicol. Es la fibra sintética de mayor uso para la fabricación de telas. [Figura 5.21]

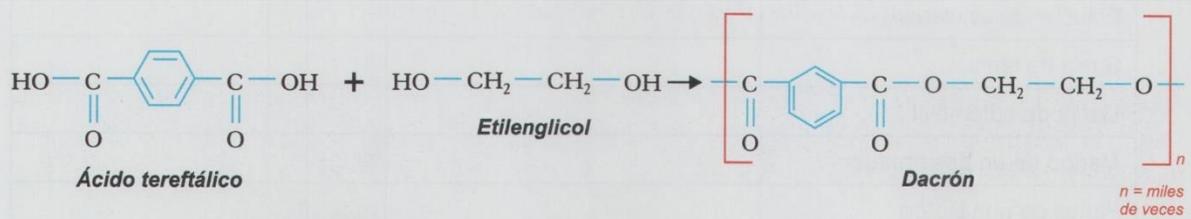


Figura 5.21 Obtención del dacrón.