



HIPERTEXTO

Santillana

química

César Humberto Mondragón Martínez

Luz Yadira Peña Gómez

Martha Sánchez de Escobar

Fernando Arbeláez Escalante

Diana González Gutiérrez



HIPERTEXTO QUÍMICA 2

Para educación media, es una obra colectiva, concebida, diseñada y creada por el Departamento Editorial de Santillana S.A.

Directora de Educativas Ana Julia Mora Torres

Directora Editorial Fabiola Nancy Ramírez Sarmiento

Equipo editorial Isabel Hernández Ayala. *Coordinadora de contenidos*
Clara María Sánchez Sánchez. *Editora ejecutiva del área de ciencias naturales.*
Ana María Díaz Bohórquez. *Editora júnior del área de ciencias naturales.*
César Augusto Buitrago Piñeros. *Asistente editorial del área de ciencias naturales.*

Autores César Humberto Mondragón Martínez
Licenciado en Química. Universidad Pedagógica Nacional.
Experiencia
Docente de Química. Instituto Pedagógico Nacional.
Director Práctica Docente. Universidad Pedagógica Nacional.

Luz Yadira Peña Gómez
Licenciada en Química. Universidad Pedagógica Nacional.
Especialista en Análisis Químico Instrumental. Pontificia Universidad Javeriana.
Especialista en Evaluación Educativa. Universidad El Bosque.
Experiencia
Docente de Química. Colegio Santa María.

Martha Sánchez de Escobar
Licenciada en Química. Universidad Pedagógica Nacional.
Experiencia
Docente de Química. Fundación Gimnasio Los Portales.

Fernando Arbeláez Escalante
Biólogo. Universidad Nacional de Colombia.
Experiencia
Docente de ciencias naturales. Colegio San Carlos.
Especialista en Docencia universitaria. Universidad Cooperativa de Colombia.

Diana González Gutiérrez
Licenciada en Química. Universidad Pedagógica Nacional.
Magíster en educación. Pontificia Universidad Javeriana.
Experiencia
Coordinadora de área y docente de Química. Colegio Santa María.

La persona encargada de avalar este texto desde el punto de vista de la disciplina específica y desde su pedagogía fue Johan Manuel Calderón Rodríguez. Biólogo. Maestría Ciencias - Biología. Universidad Nacional.

El especialista encargado de avalar este texto desde la equidad de género y de su adecuación a la diversidad cultural fue Evelio Castillo Pulido. Especialista en Ética y pedagogía de valores. Pontificia Universidad Javeriana.

Las pruebas de campo del texto fueron realizadas por el Departamento de Investigación de Editorial Santillana bajo la dirección de Ximena Galvis Ortiz.

Se ha hecho el máximo esfuerzo por ubicar a los propietarios de los derechos de autor. Sin embargo, si es preciso efectuar alguna rectificación, la Editorial determinará los arreglos pertinentes.

Agradecimiento especial al Instituto Pedagógico Nacional por su colaboración para la realización de las pruebas de campo.

Equipo gráfico y técnico Iván Merchán Rodríguez. *Coordinador Creativo y Diseñador del modelo gráfico y carátulas*

Carlos Ernesto Tamayo Sánchez. *Coordinador de Arte Educativas*

Martha Jeanet Pulido Delgado, Orlando Bermúdez Rodríguez. *Correctores de estilo*

Alveiro Javier Bueno Aguirre. *Coordinador de soporte técnico*

Luis Nelson Colmenares Barragán. *Documentalista gráfico y de escáner*

Luis Alberto Tamayo Sánchez, Pedro William Velásquez García, César Alfonso Murillo Díaz,

Sandra Patricia Acosta Tovar, Hugo Armando Castrillón Toro. *Diagramadores*

Claudia Marcela Jaime Tapia. *Documentalista*

Francisco Sánchez, Danilo Ramírez Parra, Diomedes Guilombo, Armando Rosales Ortiz. *Ilustradores*

Tulio Pizano, Carlos Díez Polanco, Harold Cárdenas, Jorge Hernán Vallejo González, William Torres, Gustavo Rodríguez,

Ana María Restrepo, Javier Jaime Sánchez, Agencia García Pelayo, S. L., David Lenin. *Fotógrafos*

Corel Stock, Photo Library, Getty images, Casa de la imagen, Archivo Santillana. *Fotografía*

Francisco Rey González. *Director de producción*

© 2010 EDITORIAL SANTILLANA S.A.

Calle 80 No. 9-69

Bogotá, Colombia

I.S.B.N. 978-958-24-1430-6 Obra completa

I.S.B.N. 978-958-24-1434-4 Edición para el estudiante

I.S.B.N. 978-958-24-1435-1 Edición para el docente

Este libro está elaborado de acuerdo con las normas ICONTEC NTC-4724 y NTC-4725 para textos escolares.

Depósito legal en trámite

Impreso en Colombia por

Prohibida la reproducción total o parcial, el registro o la transmisión por cualquier medio de recuperación de información, sin permiso previo por escrito de la editorial.

PRESENTACIÓN DEL MODELO

HIPERTEXTO QUÍMICA 2

De la serie HIPERTEXTOS SANTILLANA, es una nueva propuesta pedagógica que responde a los lineamientos curriculares y a los estándares básicos de competencias exigidos por el MEN. Tu *Hipertexto* te permitirá potenciar tus capacidades de manera que puedas manejar los conocimientos propios de esta área, aproximarte al conocimiento como científico natural y desarrollar compromisos personales y sociales.

¡Tu Hipertexto hace tu aprendizaje más dinámico!

¿Qué hay en tu hipertexto?

✖ Estos hipervínculos.

Cuando los veas debes saber que cada uno de ellos te indica que, además de lo que hay en la página, vas a encontrar:



Mayor información para ampliar tus conocimientos sobre temas específicos. Además, en algunos casos, te sugiere realizar más actividades para reforzar los conceptos trabajados.

Una dirección de Internet para profundizar en un tema.



Una evaluación que te permitirá verificar tus capacidades y el aprendizaje de los contenidos de cada unidad.

Una presentación o un video que te ayudará a comprender mejor los temas desarrollados.



Este enlace te invita a consultar en nuestra página web la sección de laboratorios. Allí obtendrás el formato para la presentación de tu informe de laboratorio.



Para acceder a esta información debes consultar la página: www.santillana.com.co/hipertextos

✖ Un método para que desarrolles destrezas en la comprensión de los contenidos propios de las Ciencias Naturales.

Comprender para aprender



Verifica conceptos



Analiza y resuelve



Problemas básicos



Problemas de profundización

✖ Unas HIPERPÁGINAS que, a través de infografías e imágenes llamativas, te permitirán establecer relaciones entre procesos o descomponer un todo en sus partes para conocerlas en detalle.



UNIDAD 1. Introducción a la química orgánica

6

Tema 1. Conceptos previos	8		
1. Breve historia de la química orgánica	8	2. Métodos e instrumentos	18
2. ¿Cuál es la importancia de la química orgánica?	9	3. Análisis orgánico	20
3. ¿Qué elementos constituyen los compuestos orgánicos?	10	4. Síntesis orgánica	22
4. Diferencias entre compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos	11	5. Fórmulas químicas	23
5. El carbono	12	■ Desarrollo de competencias	25
■ Desarrollo de competencias	17	■ Actividades	26
Tema 2. Análisis químico	18	■ Ciencia + Tecnología	
1. Objetivos y aplicaciones	18	Las propiedades únicas del átomo de carbono y el fenómeno de la vida	30
		■ Laboratorios	32

UNIDAD 2. Compuestos orgánicos

36

Tema 1. Clasificación y nomenclatura	38		
1. Diversidad de los compuestos orgánicos	38	1. Mecanismos de ruptura de enlaces	46
2. Grupos funcionales	38	2. Sitios reactivos	47
3. Series homólogas	40	3. Tipos de reacciones orgánicas	48
4. Clasificación según la estructura	40	4. Mecanismos de reacción	50
5. Nomenclatura de los compuestos orgánicos	40	■ Desarrollo de competencias	53
6. Isomería	44	■ Actividades	54
■ Desarrollo de competencias	45	■ Ciencia + Tecnología	
Tema 2. Reacciones orgánicas	46	La agricultura orgánica	58
		■ Laboratorios	60

UNIDAD 3. Los hidrocarburos

64

Tema 1. Hidrocarburos alifáticos	66		
1. Hidrocarburos saturados: alcanos	66	2. Compuestos alicíclicos	80
2. Hidrocarburos insaturados: alquenos y alquinos	69	3. Compuestos aromáticos	84
3. El petróleo	73	■ Desarrollo de competencias	91
4. Los polímeros	76	■ Actividades	92
■ Desarrollo de competencias	79	■ Ciencia + Tecnología	
Tema 2. Hidrocarburos cíclicos	80	Petroquímica, motor de la sociedad	96
1. Clasificación	80	■ Laboratorios	98

UNIDAD 4. Funciones oxigenadas

102

Tema 1. Alcoholes, fenoles y éteres	104		
1. Alcoholes	104	3. Propiedades físicas	117
2. Fenoles	109	4. Propiedades químicas	118
3. Éteres	111	5. Métodos de preparación	123
4. Usos y aplicaciones de algunos alcoholes, fenoles y éteres	113	6. Quinonas	124
■ Desarrollo de competencias	115	7. Usos y aplicaciones	126
Tema 2. Aldehídos y cetonas	116	■ Desarrollo de competencias	127
1. Naturaleza del grupo funcional carbonilo	116	■ Actividades	128
2. Nomenclatura	116	■ Ciencia + Tecnología	
		Alcoholismo: efectos y consecuencias	132
		■ Laboratorios	134

UNIDAD 5. Ácidos carboxílicos y funciones nitrogenadas**138**

Tema 1. Ácidos carboxílicos	140	10. Usos y aplicaciones	149
1. Estructura del grupo carboxilo	140	■ Desarrollo de competencias	151
2. Clasificación	140	Tema 2. Funciones nitrogenadas	152
3. Nomenclatura	141	1. Aminas	152
4. Propiedades físicas	142	2. Nitrilos	157
5. Acidez	142	■ Desarrollo de competencias	159
6. Propiedades químicas	144	■ Actividades	160
7. Preparación	145	■ Ciencia + Tecnología	
8. Ácidos dicarboxílicos	146	Los aditivos en los alimentos	164
9. Derivados de los ácidos carboxílicos	146	■ Laboratorios	166

UNIDAD 6. Compuestos de interés bioquímico I**170**

Tema 1. Carbohidratos	172	1. Estructura y clasificación	196
1. Estereoisomería	172	2. Lípidos hidrolizables	196
2. Carbohidratos	176	3. Lípidos no hidrolizables	202
3. Metabolismo de carbohidratos	182	4. Metabolismo de lípidos	204
■ Desarrollo de competencias	183	5. Valor energético de los alimentos	204
Tema 2. Aminoácidos y proteínas	184	■ Desarrollo de competencias	205
1. Introducción	184	■ Actividades	206
2. Aminoácidos	184	■ Ciencia + Tecnología	
3. Proteínas	187	Hormonas: Comunicación química de la naturaleza	212
■ Desarrollo de competencias	195	■ Laboratorios	214
Tema 3. Lípidos	196		

UNIDAD 7. Compuestos de interés bioquímico II**218**

Tema 1. Ácidos nucleicos	220	Tema 3. Salud, enfermedad y drogas	244
1. Generalidades	220	1. Generalidades	244
2. Nucleótidos	220	2. Bases bioquímicas de las enfermedades	244
3. Estructura de los ácidos nucleicos	222	3. Desarrollo de fármacos	246
4. Ácidos nucleicos como portadores de la información genética	226	4. Mecanismos de acción de los fármacos	248
5. Ingeniería genética	206	5. Definición y clasificación de las drogas	249
■ Desarrollo de competencias	230	6. La drogadicción	254
Tema 2. Vitaminas y hormonas	232	■ Desarrollo de competencias	255
1. Vitaminas	232	■ Actividades	256
2. Hormonas	238	■ Ciencia + Tecnología	
■ Desarrollo de competencias	243	El misterioso caso del enamoramiento	262
		■ Laboratorio:	264

Anexos

■ Proyectos científicos escolares	268
■ Glosario	278
■ Bibliografía	280



UNIDAD

1

Introducción a la química orgánica

Temas de la unidad

1. Conceptos previos
2. Análisis químico



Para pensar...

Si bien las leyes que rigen el universo parecen aplicarse por igual al mundo inanimado (inorgánico) y al mundo de los seres vivos (orgánico), la química de la vida tiene varios rasgos comunes. Uno de ellos se relaciona con la estructura de las moléculas que conforman los seres vivos. Todas ellas se basan en la combinación de átomos de carbono con otros elementos, entre los cuales se encuentra el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno. La química orgánica se desarrolla entonces alrededor del carbono y sus propiedades.

Ahora bien, ¿por qué es importante estudiarla? La respuesta la encontramos en todas partes. Más del 90% de la materia que constituye nuestro cuerpo es materia orgánica y por lo tanto tiene que ver con la química orgánica. El cabello, las uñas, los músculos, la piel, el código genético que describe nuestras características físicas tienen como soporte inicial moléculas orgánicas. Si miramos a nuestro alrededor, casi todo tiene que ver con la química orgánica; por ejemplo, el vestido que llevamos puesto, por lo general está hecho de materiales orgánicos, los alimentos que consumimos son sustancias orgánicas que nos proveen de las moléculas que necesitamos para poder funcionar. ¿Y qué no decir, de los incontables productos y subproductos del petróleo y el carbón, que para bien o para mal inundan nuestro mundo? Sería interminable la lista así que te invitamos a estudiar los compuestos orgánicos.



Para responder...

- ¿Qué diferencias hay entre los compuestos orgánicos y los inorgánicos?
- ¿Por qué es importante estudiar la química orgánica?
- ¿Cómo se realiza el análisis químico de una sustancia?
- ¿Qué son los métodos ópticos de análisis?



Figura 1. El vitalismo proponía que los compuestos sólo podían ser obtenidos a partir de la “fuerza vital” de los seres vivos.

1. Conceptos previos

A manera de introducción, haremos un breve recuento histórico del desarrollo de la química orgánica, para luego estudiar algunas de las propiedades del átomo de carbono, responsable del increíble despliegue de formas y expresiones que muestra la vida en nuestro planeta.

1.1 Breve historia de la química orgánica

A principios del siglo diecinueve se habían acumulado muchas pruebas sobre la naturaleza, propiedades físicas y reacciones de los compuestos inorgánicos, pero se sabía relativamente poco sobre los compuestos orgánicos. Se sabía por ejemplo, que los compuestos orgánicos estaban constituidos solo por unos pocos elementos, como el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno y el azufre, además se sabía que contrariamente a los materiales inorgánicos, los compuestos orgánicos eran fácilmente combustibles y muchos de ellos reaccionaban con la luz y el calor, además de los ácidos y bases fuertes. En este entonces, era claro que la materia se dividía en materia viva y materia inerte.

Alrededor de la anterior clasificación se desarrolló una corriente de pensamiento conocida como **vitalismo**, según la cual los compuestos orgánicos, propios de los seres vivos, solo podían existir y ser sintetizados por organismos vivos, los cuales imprimían su **fuerza** o **esencia vital** a dichos procesos (figura 1). El principal abanderado de esta corriente era el químico sueco **John Jacob Berzelius** (1779-1848). Paradójicamente, uno de sus aprendices, **Friedrich Wohler** (1800-1882) (figura 2), fue quien contribuyó en mayor medida a derrumbar el vitalismo. Wohler descubrió, en 1828, que al calentar una solución acuosa de cianato de amonio, una sal inorgánica, se producía urea, compuesto orgánico presente en la orina de algunos animales. Esto mostraba que era posible sintetizar compuestos orgánicos sin la intervención de seres vivos, es decir, sin la mediación de una fuerza vital. Por la misma época, se demostró que extractos de células muertas podían generar reacciones orgánicas, con lo cual se habían descubierto las **enzimas**. Luego, hacia 1861, el químico alemán **August Kekule** (1829-1896) propuso que los compuestos orgánicos se estructuraban sobre un esqueleto básico de átomos de carbono, en el cual se insertaban átomos de otros elementos. El aporte más importante de Kekule fue el elucidar la estructura del benceno, compuesto de gran importancia, industrial y bioquímica.

En las primeras décadas del siglo XX, surge la **bioquímica** como rama de la química encargada del estudio de los compuestos y los procesos de tipo orgánico. En 1944 se descubre que los genes son fragmentos de ácidos nucleicos y que éstos constituyen el código de la estructura química de los seres vivos. Luego, en 1953, **Watson y Crick** descubren la estructura tridimensional del ADN. Actualmente, nos encontramos ante un amplio horizonte de posibilidades de manipulación genética y bioquímica de los procesos orgánicos.



Figura 2. John Jacob Berzelius (1779-1848), principal defensor del vitalismo, hizo grandes aportes a la química, como el descubrimiento del cesio (Ce), el selenio (Se), el silicio (Si), el torio (Th) y el circonio (Zr).



Para terminar es bueno aclarar que, si bien los trabajos de Wöhler y sus contemporáneos, habían refutado de manera contundente la idea de que la materia se dividía en viva e inerte, la designación de **orgánica**, para esta rama de la química, se siguió empleando debido a su utilidad práctica para delimitar un grupo de compuestos con algunas características en común. Hoy se admite que el rasgo común entre los compuestos clasificados como orgánicos es que **todos ellos contienen el elemento carbono**. En consecuencia, la definición moderna de química orgánica es la de química de los compuestos del carbono. Análogamente, los compuestos inorgánicos, con excepción de algunos como CO_2 , CO , HCN , H_2CO_3 , Na_2CO_3 , etc. son todos aquellos que no contienen carbono.

1.2 ¿Cuál es la importancia de la química orgánica?

En primer lugar, los compuestos derivados de la combinación del carbono con un cierto número de otros elementos, son la materia prima con la cual se ha construido la vida en el planeta. De manera que el estudio de la química orgánica es la base para la comprensión del funcionamiento de los seres vivos, aspecto estudiado específicamente por la **bioquímica**.

En segundo lugar, la posibilidad de extraer, purificar y modificar intencionalmente una gran variedad de compuestos orgánicos, así como el desarrollo de procesos industriales con los cuales ha sido viable la síntesis artificial de otros compuestos, ha revolucionado la forma de vida de las personas en la civilización actual. Algunos ejemplos de productos derivados de compuestos orgánicos son: el papel, las telas de algodón, los combustibles (petróleo, ACPM, carbón), las drogas (como la penicilina) y las vitaminas. Así mismo, compuestos orgánicos sintetizados artificialmente son: los plásticos, los detergentes, los pesticidas, los colorantes, algunas fibras (rayón, dacrón, nailon, orlón) y algunas drogas (como la cortisona y varios antibióticos) (figura 3).

Muchos de estos productos son a su vez materia prima para otro gran número de productos industriales.

A lo largo del presente texto estudiaremos la naturaleza de muchas de estas sustancias incluyendo sus estructuras, su comportamiento químico y sus métodos de preparación.

EJERCICIO

August Kekule, hacia el final de su vida comentó, en una entrevista, que había dilucidado la estructura del benceno como un anillo de átomos de carbono, gracias a un sueño, en el cual una serpiente se mordió su propia cola, formando un círculo. ¿Qué implicaciones tiene esto para el quehacer científico? ¿Por qué se pretende que la ciencia sea objetiva? ¿La metodología científica puede aceptar vías de acción basadas en intuiciones, sueños o pensamientos subjetivos?

En un escrito de media página, expón tus opiniones al respecto.



Figura 3. Son muchos los productos derivados de compuestos orgánicos, entre ellos se encuentran los colorantes.

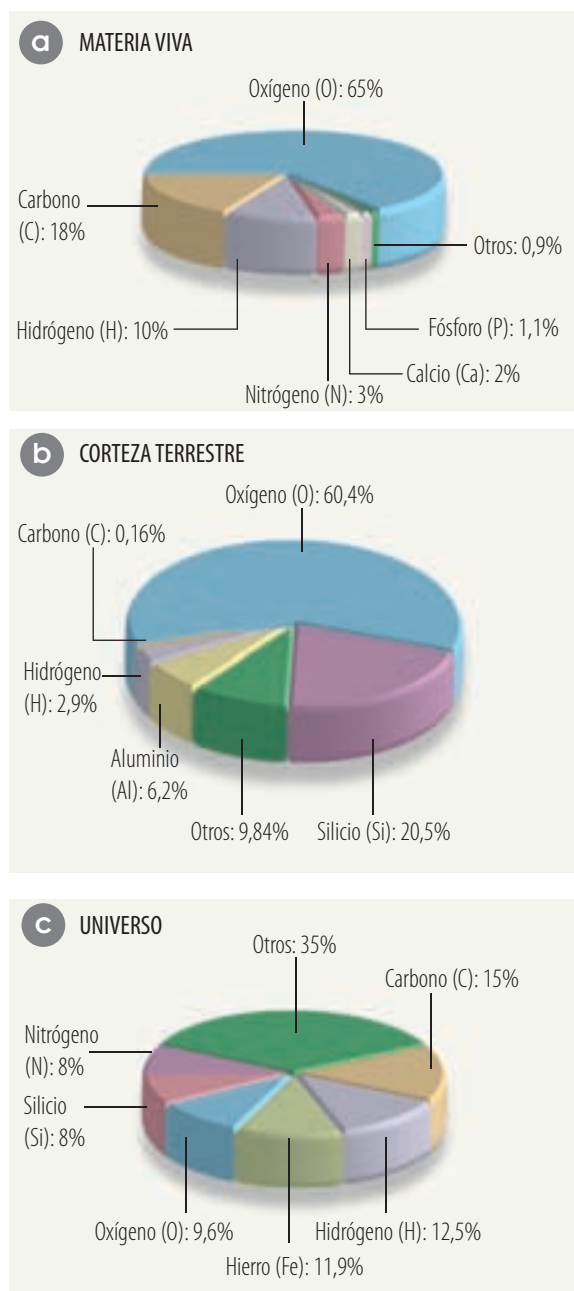


Figura 4. Abundancias relativas de los elementos químicos en la materia viva (a), la corteza terrestre (b) y el universo (c).

1.3 ¿Qué elementos constituyen los compuestos orgánicos?

Si se analiza la composición de la materia en términos de la proporción relativa de los diferentes elementos presentes, se encuentra que cerca del 95% de la masa está constituida por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre. El porcentaje restante está representado por elementos como calcio, fósforo, hierro, magnesio, entre otros. Los elementos presentes en los seres vivos se denominan **bioelementos**. Los cinco elementos más abundantes (C, H, O, N y S) son indispensables para la síntesis de las moléculas que conforman los seres vivos, por lo que se conocen como **bioelementos primarios** o **elementos biogénicos** u organógenos.

En la figura 4 se muestran tres gráficas comparativas de los porcentajes relativos de los elementos presentes en la materia viva, en la corteza terrestre y en el universo.

A continuación haremos una breve mención de los bioelementos, reservando un apartado especial para el carbono.

1.3.1 Hidrógeno

El hidrógeno se encuentra únicamente en estado libre en la naturaleza en muy pequeña cantidad. La atmósfera contiene menos de una parte de hidrógeno en un millón de partes de aire aunque se cree que en las capas superiores de la atmósfera la proporción de hidrógeno es un poco mayor.

Combinado, el hidrógeno representa el 11,9% del agua; se encuentra también en todos los ácidos y es un constituyente importante de los compuestos orgánicos denominados **hidrocarburos**, sustancias que de por sí constituyen el petróleo y el gas natural. También forma parte de las sustancias de los tejidos de los seres vivos, de los alimentos y de muchas sustancias como almidones, azúcares, alcoholes, grasas, proteínas, ácidos y álcalis.

1.3.2 Oxígeno

La tierra, el agua y el aire se componen más o menos del 50% en peso de oxígeno. Las moléculas de oxígeno son lineales y apolares y muy poco solubles en agua; apenas unos 0,004 g/100 g de agua a 25 °C. El oxígeno reacciona con la mayor parte de los elementos con excepción de los gases inertes y algunos metales nobles. Servir de agente comburente es tal vez su principal aplicación.

El oxígeno participa en los procesos de respiración animal y vegetal. El oxígeno del aire se combina con la hemoglobina de la sangre, luego es transportado a todas las partes del cuerpo y liberado para oxidar productos orgánicos; la energía liberada se utiliza en el metabolismo del cuerpo. También es necesario para la locomoción, para el aprovisionamiento de calor en el cuerpo y para el crecimiento.



1.3.3 Nitrógeno

Es un gas inodoro, incoloro e insípido que constituye alrededor del 75% en peso y el 78% en volumen de la atmósfera. La explicación de la gran abundancia del nitrógeno en la atmósfera y de la relativa escasez de sus compuestos está dada por la gran inercia química que presenta su molécula. Sin embargo, la naturaleza provee mecanismos mediante los cuales los átomos de nitrógeno se incorporan a las proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos nitrogenados. Uno de los más importantes es el NO_2 . La mayor parte de este gas se disuelve en el agua de lluvia y cae a la superficie de la Tierra. Algunas bacterias cuentan con un aparato enzimático capaz de convertir el nitrógeno a formas más complejas como aminoácidos y proteínas asimilables por las plantas y se incorporan de esta manera a las cadenas alimentarias correspondientes.

1.3.4 Azufre

Constituye alrededor del 0,05% de la corteza terrestre y se presenta como elemento libre, en forma de sulfuros metálicos como galena (PbS), pirita ferrosa (FeS_2), cinabrio (HgS) y en los gases volcánicos en forma de sulfuro de hidrógeno (H_2S) y dióxido de azufre (SO_2). Forma también parte de materia orgánica como el petróleo y el carbón. Su presencia en los combustibles fósiles produce problemas ambientales y de salud.

1.4 Diferencias entre compuestos orgánicos y compuestos inorgánicos

Los compuestos orgánicos presentan una serie de rasgos característicos que los diferencian de los compuestos inorgánicos (figuras 5 y 6). A continuación consideramos los más importantes:

- Todos los compuestos orgánicos utilizan como **base de construcción el átomo de carbono** y unos pocos elementos más, mientras que en los compuestos inorgánicos participan la gran mayoría de los elementos conocidos.
- Están formados por **enlaces covalentes**, mientras que en los compuestos inorgánicos predominan los **enlaces iónicos**.
- La mayoría presentan **isómeros**, sustancias que poseen la misma fórmula molecular pero difieren en la organización estructural de los átomos, es decir, la forma tridimensional de las moléculas es diferente. Por esta razón las propiedades físico-químicas cambian entre isómeros. Contrariamente, entre las sustancias inorgánicas los isómeros son raros.
- Por lo general están formados por gran número de átomos organizados en largas cadenas basadas en carbono, sobre las cuales se insertan otros elementos. En los compuestos inorgánicos —con excepción de algunos silicatos— la formación de cadenas no es común.
- La variedad de los compuestos orgánicos es muy grande comparada con la de los compuestos inorgánicos.
- La mayoría son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos.
- Los compuestos orgánicos presentan puntos de fusión y ebullición bajos; los compuestos inorgánicos se caracterizan por sus elevados puntos de fusión y ebullición; esto se explica por el carácter iónico de sus enlaces.



Figura 5. El cuarzo es una sustancia inorgánica de apariencia cristalina.



Figura 6. La variedad de formas y colores de la naturaleza se debe a las combinaciones entre los compuestos orgánicos.

EJERCICIO

Menciona cinco sustancias inorgánicas y cinco orgánicas anotadas en el texto anterior y comprueba con datos las diferencias entre ellas.

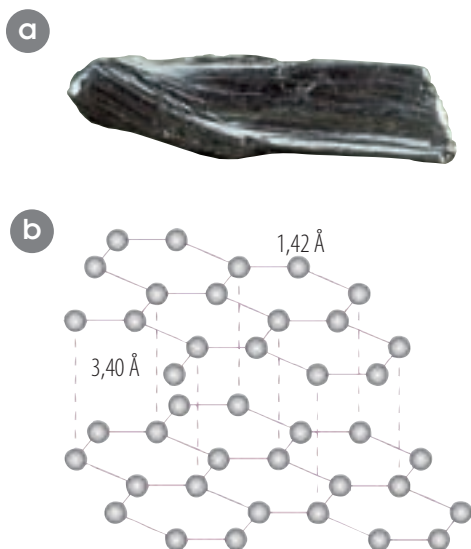


Figura 7. El grafito, debido a su estructura laminar es blando y grasoso. a) Apariencia externa. b) Estructura interna.

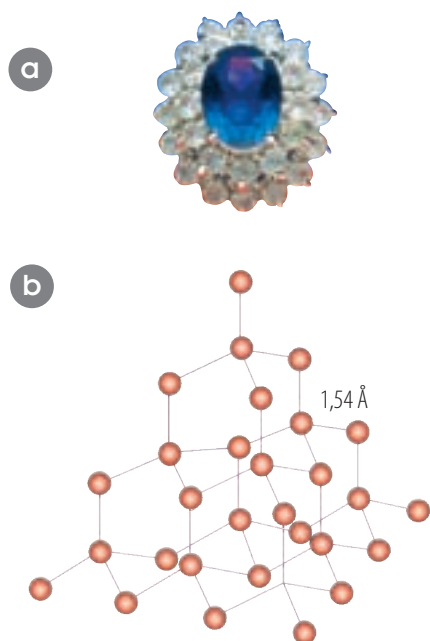


Figura 8. El diamante es una de los materiales más duros que se conocen. a) Apariencia externa. b) Estructura interna.

EJERCICIO

Elabora una lista de las características físicas y químicas de los elementos del grupo IVA. ¿Qué similitudes puedes encontrar entre el carbono y el silicio?

1.5 El carbono

Tal vez la principal característica del átomo de carbono, como base para la amplia gama de compuestos orgánicos, es su capacidad para formar enlaces estables con otros átomos de carbono, con lo cual es posible la existencia de compuestos de cadenas largas de carbonos a los que pueden además unirse otros bioelementos. Muy pocos elementos poseen esta capacidad; el más destacado es el silicio, aunque este elemento forma cadenas cortas e inestables. El silicio y el carbono pertenecen al mismo grupo de la tabla periódica, grupo IVA, del que también forman parte los elementos Ge, Sn y Pb. Los elementos de este grupo tienen valencias entre 2 y 4.

1.5.1 Fuentes naturales de carbono

El carbono es un elemento ampliamente difundido en la naturaleza, aunque sólo constituya aproximadamente el 0,08% de los elementos presentes en la litosfera, la atmósfera y la hidrosfera. En la corteza terrestre, se encuentra principalmente en forma de carbonatos de calcio o magnesio. En la atmósfera lo encontramos principalmente como gas carbónico (CO_2) y monóxido de carbono (CO).

El carbono se conoce desde la antigüedad. Los egipcios obtenían carbón de leña de forma similar a la actual. El término **carbón** procede del latín *carbo* que significa carbón de leña.

Se encuentra puro en la naturaleza en tres variedades alotrópicas: **diamante**, **grafito** y **carbón amorfo**, que son sólidos con puntos de fusión sumamente altos e insolubles en todos los disolventes a temperaturas ordinarias. Las propiedades físicas de las tres formas difieren ampliamente a causa de las diferencias en la estructura cristalina.

■ **Grafito:** la palabra *grafito* procede del griego *graphein* que significa escribir. El grafito se encuentra muy difundido en la naturaleza. Es una sustancia blanda, untuosa, de color negro brillante. Su estructura consiste en capas planas de átomos organizados en anillos hexagonales que se unen débilmente unos a otros (figura 7). Tres de los cuatro electrones de valencia de cada átomo de carbono participan en los enlaces con los carbonos de su mismo plano, mientras que el cuarto electrón forma un enlace más débil perpendicular a dichos planos. Las capas pueden deslizarse horizontalmente con facilidad al romperse esos enlaces y formarse otros nuevos. Debido a ello el grafito se utiliza como lubricante, como aditivo para aceite de motores y en la fabricación de minas para lápices.

El grafito es buen conductor de la corriente eléctrica, resiste a la acción de muchos reactivos químicos y es bastante estable frente al calor. Por todas estas propiedades es utilizado para fabricar electrodos y crisoles así como en algunos procesos de galvanoplastia. Su punto de fusión es 3.925°C y presenta una densidad de $2,25\text{ kg/m}^3$.

■ **Diamante:** su nombre proviene de la palabra latina *adamas* cuyo significado es invencible, pues, a diferencia del grafito, el diamante es una de las sustancias más duras que se conoce.



Es incoloro, no conduce la electricidad, es más denso que el grafito ($3,53 \text{ kg/m}^3$) y tiene el punto de fusión más elevado que se conoce de un elemento (cerca de 3.823°C). Estas propiedades corresponden a su estructura: una red de átomos de carbono distribuidos en forma de tetraedro, separados de sus átomos vecinos por sólo $1,54 \text{ \AA}$ (en vez de las separaciones de $1,42 \text{ \AA}$ en el plano y $3,40 \text{ \AA}$ entre planos del grafito) (figura 8). En esta estructura se presentan enlaces muy fuertes sin que haya electrones débilmente retenidos.

■ **Carbono amorfo:** se caracteriza por un grado muy bajo de cristalinidad. Puede obtenerse calentando azúcar purificada a 900°C en ausencia de aire.

Otras fuentes de carbono son los combustibles fósiles, como el carbón, el gas natural y el petróleo, originados a partir de restos animales y vegetales en un proceso que abarca millones de años. Dependiendo de la edad geológica, el carbón se encuentra como:

- **Hulla:** posee de 70 a 90% de carbono y llega a tener un 45% de materias volátiles. De la hulla, por destilación en ausencia de aire, se obtienen: gases combustibles (denominados también de alumbrado), gases amoniacales, alquitrán y un 20% de coque. Destilando el alquitrán se separa una gama enorme de productos que tienen aplicación como disolventes, colorantes, plásticos, explosivos y medicinas.
- **Antracita:** material rico en carbono (98%), posee de 5 a 6% de materias volátiles y una alta potencia calorífica (figura 9).



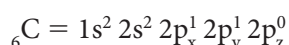
Figura 9. La antracita es un carbón fósil que, debido a su larga evolución, es una fuente muy apreciada de energía, pues desprende mucho calor y poco humo.

1.5.2 capacidad de enlace del carbono

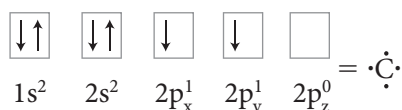
La configuración electrónica del carbono explica sus elevadas posibilidades de combinación consigo mismo y con otros elementos, dando lugar a una gran cantidad de compuestos.

Configuración electrónica

El carbono tiene un número atómico igual a 6 y presenta la siguiente configuración electrónica en estado basal o fundamental:



La cual se puede representar gráficamente como sigue:



Es decir, tiene completo el primer nivel de energía, mientras que en el segundo nivel, posee cuatro electrones: dos en el orbital $2s$, que está completo y dos más ubicados en los orbitales $2p_x$ y $2p_y$, de modo que el orbital $2p_z$ está vacío (figura 10). De acuerdo con esta distribución electrónica, el carbono debe compartir los cuatro electrones externos, en enlaces covalentes, para adquirir la configuración de gas noble. Esto puede lograrse si se une con cuatro átomos monovalentes (por ejemplo de hidrógeno), o con dos átomos divalentes (como el oxígeno). Sin embargo, recordemos que dos de estos electrones de valencia pertenecen al orbital $2s$, mientras que los otros dos están ubicados en los orbitales $2p_x$ y $2p_y$, respectivamente. Esto supone que los cuatro enlaces resultantes deben ser diferentes. Sin embargo, se sabe que son simétricos. La explicación de esto se basa en la teoría de la **hibridación** de orbitales.

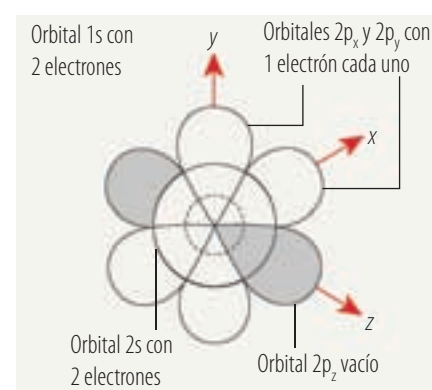


Figura 10. El esquema representa las formas espaciales de los orbitales s y p en el átomo de carbono.

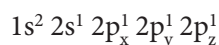


EJERCICIO

¿Cuál es la razón por la que el enlace s presenta rotación libre, mientras que el enlace π no la tiene? Elabora un modelo con bolas de icopor y palillos de pincho.

Hibridación de orbitales

Debido a la promoción de un electrón del orbital $2s$ al orbital $2p_z$, el átomo de carbono adquiere la posibilidad de formar cuatro enlaces covalentes, en cada uno de estos orbitales semicupados:



Esta configuración se conoce como **estado excitado**.

Sin embargo, aún no hemos explicado por qué los cuatro enlaces que se forman son iguales. Se cree que, cuando uno de los electrones del orbital $2s$ es promovido, ocurre una especie de deformación de los orbitales, dando como resultado otro tipo de orbitales, denominados **orbitales híbridos sp^3** .

Dependiendo de si se une con otros átomos de carbono y del número de átomos diferentes presentes en la molécula, se producen fenómenos de hibridación diferentes, en los cuales pueden estar involucrados todos los orbitales p o sólo algunos de ellos, como veremos más adelante.

Enlaces entre orbitales híbridos

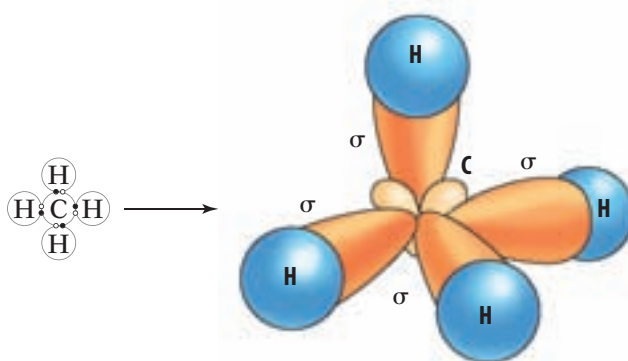
El tipo de enlace que resulta de la fusión de dos orbitales híbridos, sp , es diferente al que se forma a partir de dos orbitales p no hibridados. En el primer caso, se forma un **enlace sigma (σ)**, mientras que en el segundo se obtiene un **enlace pi (π)**. En el siguiente cuadro comparativo se detallan las características de cada tipo de enlace:

Enlace σ	Enlace π
Formado por superposición frontal de orbitales atómicos híbridos, sp^3 .	Formado por superposición lateral de orbitales p (u orbitales p y d).
Tiene simetría de carga cilíndrica alrededor del eje de enlace.	Tiene una densidad de carga máxima en el plano transversal de los orbitales.
Tiene rotación libre.	No permite la rotación libre.
Es un enlace de alta energía.	Posee energía más baja.
Solamente puede existir un enlace entre dos átomos.	Pueden existir uno o dos enlaces entre dos átomos.

Tipos de hibridaciones

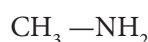
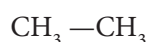
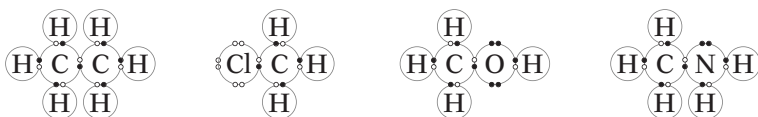
Hibridación tetragonal (sp^3)

Se presenta cuando un átomo de carbono forma enlaces con cuatro átomos monovalentes, por ejemplo, cuatro átomos de hidrógeno o de algún elemento del grupo de los halógenos, como el cloro; a través de cuatro enlaces covalentes simples, tipo σ :





Igualmente, este tipo de estructura molecular se puede presentar cuando el carbono se combina con otros átomos de carbono o de elementos divalentes, como el oxígeno o trivalentes, como el nitrógeno:

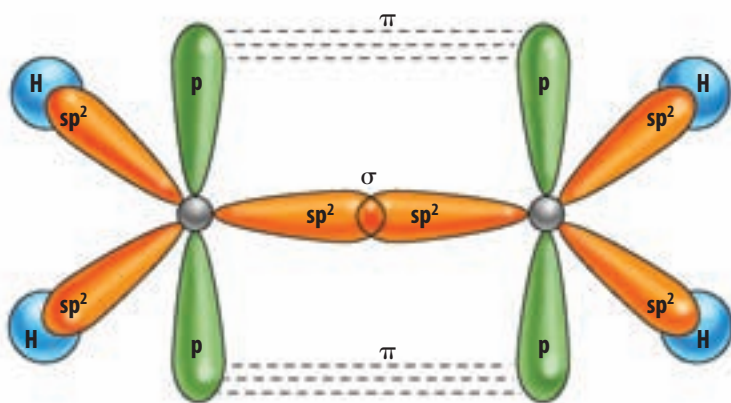


En los casos expuestos anteriormente se presenta una hibridación de tipo **tetragonal**, tal como puede observarse en la figura 11. Los orbitales sp^3 y los enlaces que de ellos resultan, así como los núcleos positivos de todos los átomos unidos al carbono están lo más lejos posible entre sí y para conseguir esto se ubican con ángulos de enlace de $109,5^\circ$.

La idea de que las moléculas en las cuales el carbono se comporta como tetravalente presentan una conformación tridimensional tetraédrica fue propuesta, por primera vez en 1874, por **Jacobus Van't Hoff** y **Joseph Le Bel**, quienes afirmaron que la orientación de los orbitales híbridos no era al azar sino regular.

Hibridación trigonal (sp^2)

Cuando el carbono se combina con solo tres átomos, debe ocupar dos valencias con un átomo que no sea monovalente. Por ejemplo, puede unirse con dos átomos de hidrógeno y con otro átomo de carbono, como ocurre en la molécula de etileno:



Se produce entonces una **hibridación trigonal**, en la cual los orbitales $2s$, $2p_x$ y $2p_y$ se hibridan para generar tres orbitales híbridos, conocidos como **orbitales sp^2** , con lo cual, el orbital $2p_z$ queda inalterado, es decir, no participa. Dos de los orbitales sp^2 forman enlaces covalentes tipo σ con los dos átomos de hidrógeno, mientras que entre los dos átomos de carbono se forma un enlace doble, a partir de la fusión del tercer orbital sp^2 de cada carbono (en un enlace σ) y de los orbitales p no hibridados (enlace π). Como consecuencia de esta disposición, los núcleos de todos los átomos que intervienen quedan situados lo más lejos posible unos de otros, de lo que resulta la coplanaridad (mismo plano) y los ángulos de 120° , característicos de todos los sistemas de doble enlace (figura 12).

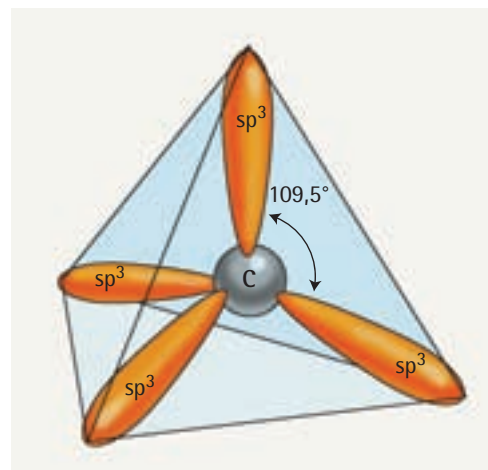


Figura 11. La ilustración muestra un modelo de la hibridación tetragonal, sp^3 , del carbono, con lo cual el átomo adquiere una forma tetrahédrica.

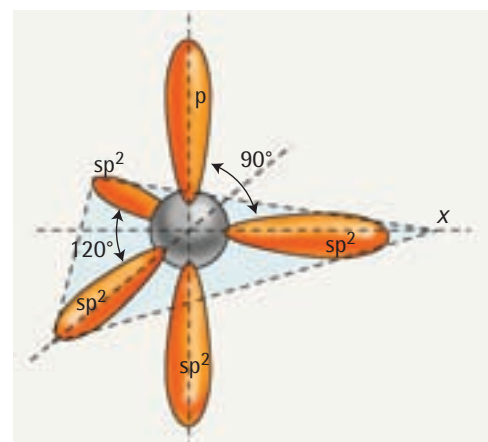


Figura 12. Modelo de la hibridación trigonal sp^2 , en la cual el orbital s y solo dos orbitales p se hibridan, formando tres orbitales híbridos sp .

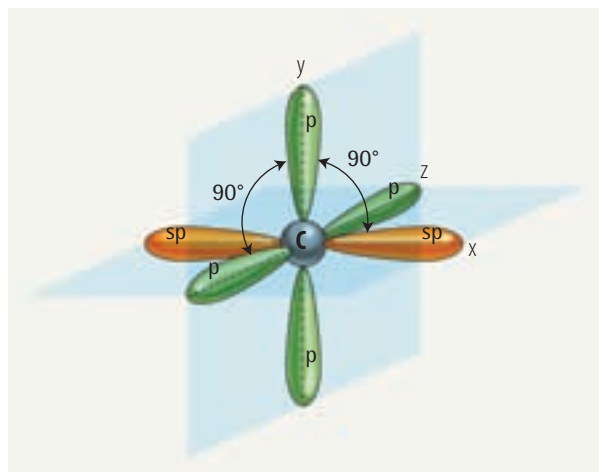


Figura 13. Hibridación sp , en la cual sólo hay formación de dos orbitales híbridos, sp .

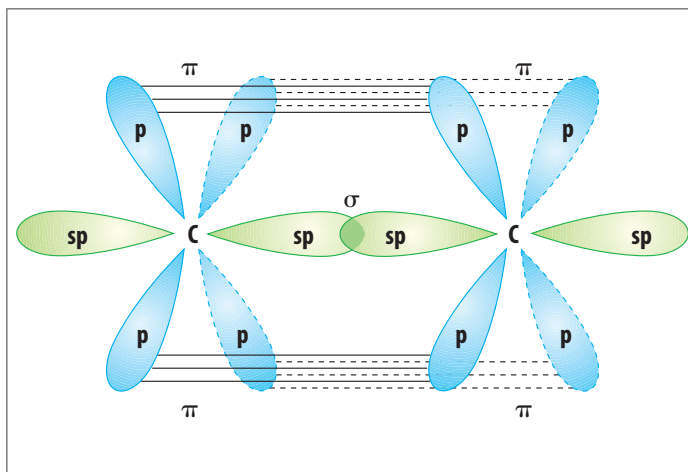


Figura 14. Modelo de la molécula de acetileno, caracterizada por el triple enlace carbono-carbono y por su forma lineal.

Hibridación digonal (sp)

Se produce cuando un átomo de carbono se encuentra unido sólo a dos átomos, por ejemplo, otro carbono y un hidrógeno. En este caso, solo se forman dos orbitales atómicos “ sp ”, quedando, por tanto, dos orbitales p no hibridados (figura 13). El resultado es la formación de un enlace triple entre los dos carbonos, compuesto por dos enlaces π y uno σ , resultado de la fusión de los dos orbitales p y de uno de los orbitales híbridos sp . De la misma manera, entre el hidrógeno y el carbono se forma un enlace tipo σ . Los orbitales híbridos sp forman enlaces separados entre sí 180° , lo que da origen a la geometría lineal del acetileno y de otras estructuras con triple enlace (figura 14).

El siguiente cuadro ilustra las características principales de los diferentes tipos de hibridación.

Tipo de hibridación	Ángulo de enlace	Forma geométrica de la molécula	Número de orbitales p no hibridados	Tipo de enlace entre carbonos
sp^3	$109,5^\circ$	Tetraédrica	0	Sencillo (σ)
sp^2	120°	Trigonal plana	1	Doble (σ y π)
sp	180°	Lineal	2	Triple (σ y dos π)

Efectos de la hibridación sobre la estabilidad de los enlaces

Dos cosas se pueden ganar cuando un átomo como el de carbono experimenta la hibridación. En primer lugar, mediante este fenómeno, los orbitales híbridos pueden superponerse mejor y, en segundo lugar, la hibridación permite ángulos de enlace más amplios, con lo que se minimiza la repulsión entre pares de electrones y se obtiene mayor estabilidad.

Por otro lado, los enlaces entre orbitales híbridos, ya sea sp^3 , sp^2 o sp , con otros orbitales híbridos o con orbitales tipo s , es decir, los enlaces σ , son más fuertes que los enlaces entre orbitales no hibridados, por ejemplo $s-p$, $s-s$ o $p-p$. Esto hace que la longitud de enlace en las moléculas sea menor.

EJERCICIO

Además del átomo de carbono, ¿qué otros átomos pueden experimentar el fenómeno de la hibridación?



Interpreta

1 Mediante un modelo orbital molecular representa un compuesto orgánico que contenga en su molécula un enlace triple. Explica:

- ¿Qué tipo de hibridación adopta el carbono para formar dicha molécula?
- ¿Qué sucedería si el carbono no sufre hibridación?

2 El átomo de carbono presenta una gran variedad de formas alotrópicas que tienen diversos usos. Consulta sobre cuatro formas alotrópicas. Luego, contesta las siguientes preguntas y registra la información en la tabla:

- ¿Qué aplicaciones tienen en la industria?
- ¿Cuáles son las características de cada una de ellas?

Formas alotrópicas del carbono	Aplicaciones	Características



Argumenta

3 Los textiles siempre han tenido un papel importante en la vida del ser humano. Las fibras vegetales o artificiales se tiñen con el fin de obtener colores brillantes y variados. Hasta el siglo XIX, los colorantes eran de origen natural, pero luego comenzaron a sintetizarse en el laboratorio. La mayoría de colorantes son derivados oxigenados y nitrogenados de los hidrocarburos. Explica:

- ¿En qué consiste la síntesis orgánica para la obtención de estas sustancias?
- ¿Por qué fue tan importante descubrir estos procesos en el laboratorio?
- ¿Qué otra utilidad tiene la síntesis orgánica?
- ¿En los procesos biológicos se dan reacciones de síntesis?

4 En la vida cotidiana, frecuentemente nos encontramos con manchas de grasa que son difíciles de quitar. Responde:

- ¿Cuál crees que es el disolvente apropiado para extraerla?
- Si tuvieras que tratar una mancha de óxido de hierro, ¿qué sustancia emplearías?

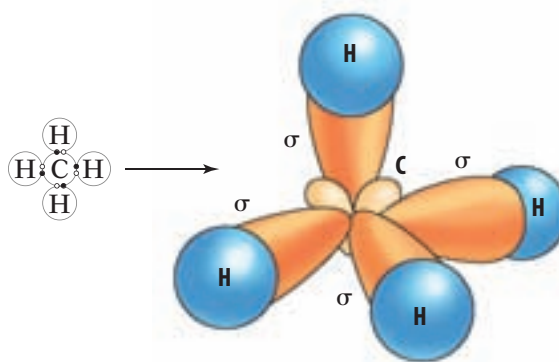
5 El Proyecto Genoma Humano fue lanzado en 1989 con la esperanza de diseñar el mapa de todos los genes humanos. Responde:

- Actualmente, ¿la ciencia ha logrado alcanzar este objetivo?
- ¿Qué beneficios aporta a la humanidad este descubrimiento?
- ¿Qué relación puedes establecer entre la química orgánica y el mapa del genoma humano?



Propone

6 La hibridación sp^3 se presenta cuando un átomo de carbono forma enlaces con cuatro átomos monovalentes, por ejemplo, cuatro átomos de hidrógeno o de algún elemento del grupo de los halógenos como el cloro. Responde:



- ¿Qué tipo de enlace se forma en la hibridación sp^3 ?
- ¿Cómo sería la hibridación entre un átomo de carbono y cuatro átomos de cloro?
- ¿Se forman enlaces pi en esta clase de hibridación?
- ¿Qué diferencias existen entre los enlaces pi y sigma?
- ¿Qué otros elementos, además del carbono, presentan hibridación? Justifica tu respuesta.



Figura 15. La química analítica tiene múltiples aplicaciones en la síntesis y el análisis de una gran variedad de compuestos.

2. Análisis químico

Uno de los problemas más importantes de la química es el conocer qué sustancias están presentes en un material cualquiera y cuál es la cantidad existente en el mismo de cada una de ellas. A continuación describiremos algunos métodos de análisis empleados en química orgánica.

2.1 Objetivos y aplicaciones

La respuesta a las preguntas, *qué sustancias constituyen un compuesto químico y en qué cantidades están presentes*, constituye el doble objetivo del **análisis químico** o **química analítica** (figura 15). Por ello, esta ciencia se divide en dos partes: **análisis químico cualitativo**, que trata del reconocimiento de las sustancias (elementos o compuestos) existentes en un determinado producto, y el **análisis químico cuantitativo** que trata de la determinación de la cantidad relativa de estas sustancias.

El campo de acción de la química analítica es muy amplio y tiene múltiples aplicaciones. Por ejemplo, gracias al análisis químico, se puede conocer el grado de salubridad y seguridad en alimentos y medicamentos o detectar la naturaleza y concentración de los elementos contaminantes del aire, del agua y del suelo. Así mismo, es posible extraer y purificar nuevas sustancias a partir de especies animales y vegetales exóticas. Gran parte de las sustancias así obtenidas han servido y con seguridad servirán para la obtención de nuevos y mejores medicamentos, así como de otros productos, como perfumes, esencias, anticongelantes, etc.

2.2 Métodos e instrumentos

Para la completa caracterización de una sustancia orgánica, la química analítica cuenta con una serie de métodos e instrumentos, que facilitan el cumplimiento de este objetivo. Una de las técnicas empleadas ampliamente con gran éxito es el **análisis espectroscópico**, sobre el cual profundizaremos a continuación.

Recordemos que el espectro electromagnético de un compuesto o elemento químico es el conjunto de longitudes de onda electromagnéticas absorbidas o emitidas por éste. Se distinguen entonces, los **métodos de emisión**, que utilizan la radiación emitida cuando los átomos de la muestra son excitados mediante energía térmica, eléctrica o radiante; y los **métodos de absorción**, basados en la disminución de la potencia o, atenuación, de un haz de radiación electromagnética, como consecuencia de su interacción con los átomos o moléculas de la muestra.

Hace unos años los métodos espectroscópicos hacían uso solamente de la radiación visible y por esta razón se denominaron **métodos ópticos**.

EJERCICIO

¿Qué se entiende por absorbancia y transmitancia? Consulta sobre las aplicaciones de los métodos ópticos de análisis.



Posteriormente se empezó a emplear radiación ultravioleta e infrarroja. Actualmente podemos clasificar los métodos espectroscópicos de acuerdo con la región del espectro electromagnético que utilicen. Estas regiones se pueden delimitar de la siguiente manera:

- Rayos X: 1–10 Å. Se presenta emisión o absorción de radiación por transición de los electrones cercanos a los núcleos.
- Ultravioleta al vacío: 10–1.800 Å.
- Ultravioleta: 180–380 nm.
- Visible: 380–750 nm.
- Infrarrojo: 2,5–15,4 μm .

La **espectroscopia infrarroja** es una de las técnicas más usadas. Se emplea tanto en análisis cualitativos como cuantitativos.

Así, la **espectrofotometría**, que emplea el espectro visible, permite medir la cantidad de energía radiante absorbida o emitida por un medio transparente en algunas regiones del espectro electromagnético (figura 16).

Los instrumentos espectroscópicos tienen una estructura básica, en la cual podemos distinguir cinco elementos o componentes (figura 17):

- Una **fente** estable de energía radiante.
- Un **selector de longitud de onda** que selecciona una región determinada del espectro para hacer la medición.
- Uno o más **recipientes** para la muestra denominados **fotoceldas**.
- Un **detector de radiación**, que convierte la energía radiante en una señal medible (generalmente eléctrica).
- Un **sistema que procesa y lee la señal** y la visualiza en una escala de medida en una pantalla, en un medidor digital o un registrador gráfico. En la figura 3 se muestran los elementos de un instrumento espectroscópico.



Figura 16. La fotografía muestra un espectrofotómetro ultravioleta/visible.

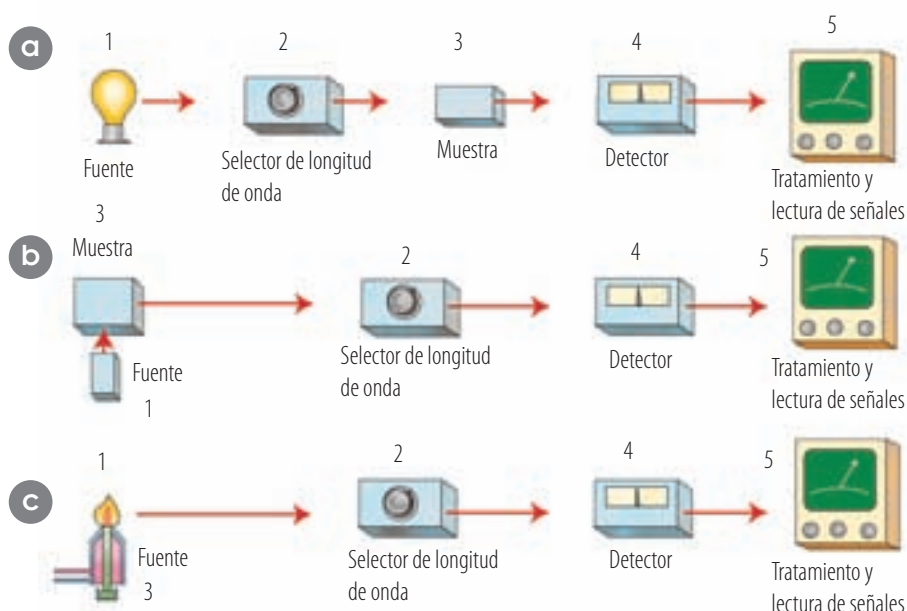


Figura 17. La ilustración muestra los distintos componentes de los instrumentos ópticos de análisis: a) espectroscopio de absorción, b) espectroscopio de fluorescencia y dispersión y c) espectroscopio de emisión.



Figura 18. Las funciones presentan un comportamiento químico característico, por lo que pueden ser identificadas a través de reacciones que se comparan por una solución patrón.

2.3 Análisis orgánico

Anteriormente mencionamos que el análisis químico puede ser cuantitativo o cualitativo. Sin embargo, cuando se trata del análisis de compuestos orgánicos es necesario adicionar un tercer componente: el **análisis funcional**. Los compuestos orgánicos se clasifican —según sus características físico-químicas— en grupos, que reciben el nombre de **funciones**. De manera que no es suficiente saber qué elementos y cuánto de cada uno componen una sustancia, sino que también es necesario conocer la función a la cual pertenece el compuesto en estudio.

A grandes rasgos, el procedimiento que se sigue para identificar un compuesto orgánico es el siguiente:

- Si se sospecha que el compuesto se encuentra con impurezas, debe ser purificado, para luego ser sometido a las técnicas pertinentes.
- Una vez purificada, la sustancia en estudio se somete a una serie de ensayos preliminares, con el propósito de determinar: las constantes físicas, los elementos constituyentes y el comportamiento de la sustancia frente a diversos solventes. Con estas pruebas se limita un poco el número de funciones orgánicas a las cuales puede pertenecer la sustancia.
- A través de un conjunto de pruebas químicas más específicas, que incluyen reacción del compuesto a diversos reactivos, se determina la función a la que pertenece la sustancia (figura 18).
- Finalmente, la información recopilada acerca del compuesto se compara con la información disponible de compuestos ya identificados, con el propósito de ver las coincidencias y deducir de qué compuesto se trata.
- Si se trata de un compuesto nuevo, es necesario realizar un análisis mucho más riguroso, haciendo uso de técnicas más sofisticadas, como la espectroscopia infrarroja y ultravioleta o, la resonancia nuclear magnética.

Además de este procedimiento básico, el análisis orgánico puede ser de dos tipos: análisis inmediato y análisis elemental.

2.3.1 Análisis inmediato

Cuando, a partir de una sustancia dada se obtienen compuestos más simples, conocidos como **principios inmediatos**, se realiza un tipo de análisis denominado **análisis inmediato**. Por ejemplo, la descomposición del carbonato de calcio (CaCO_3) en CaO y CO_2 .

El análisis inmediato de una sustancia química comprende operaciones de tipo mecánico, físico y químico.

- **Mecánico**, como decantación, filtración y centrifugación.
- **Físico**, como disolución, cristalización y destilación (figura 19).
- **Químico**, empleados cuando los procedimientos físicos no son adecuados para la separación de los componentes de la sustancia o son de difícil aplicación. En estos casos, se adicionan reactivos con afinidad específica hacia el componente que se desea separar, de manera que éste se vuelve insoluble. Al quedar en una fase física diferente, es posible entonces separar este componente. Por ejemplo, para separar el ácido cítrico del jugo de limón, se adiciona cal (CaO), con la consecuente producción de citrato de calcio insoluble. Luego, por medio del ácido sulfúrico (H_2SO_4) se separa del calcio.



Figura 19. El análisis inmediato se lleva a cabo a través de métodos físicos, como la destilación o mecánicos como la decantación.



2.3.2 Análisis elemental

Si el análisis se lleva a cabo hasta la separación de los elementos que constituyen dicha sustancia, el análisis se llama **elemental**, por ejemplo la descomposición de una muestra de azúcar (sacarosa), $C_{12}H_{22}O_{11}$, en carbono, oxígeno e hidrógeno. Este tipo de análisis puede ser de dos clases:

■ **Análisis elemental cualitativo.** En química inorgánica el análisis cualitativo se realiza generalmente por medio de reactivos que ocasionan la precipitación de un elemento, de una solución determinada. Por ejemplo, el ion cloro se reconoce por medio del nitrato de plata. Esta técnica es correcta y funciona para los compuestos inorgánicos en solución, puesto que generalmente se encuentran ionizados; pero en la química orgánica los elementos no son fácilmente ionizables. Para aislar e identificar los elementos unidos al carbono es necesario descomponer la sustancia orgánica suministrando calor, usualmente, en presencia de agentes oxidantes o reductores, para que los elementos formen compuestos inorgánicos en los cuales es posible identificar los elementos constitutivos (figura 20).

■ **Análisis elemental cuantitativo.** Son muchas las técnicas empleadas para cuantificar la cantidad presente de cada elemento en un compuesto orgánico. A manera de ejemplo, vamos a describir a continuación uno de estos métodos, para una sustancia, de la cual sabemos que contiene carbono e hidrógeno, y muy posiblemente oxígeno:

- En un tubo de combustión, se coloca un gramo de la sustancia, colocada en una pequeña cápsula (figura 21), si es sólida o en una ampolla de vidrio si es volátil, y se llena el resto del tubo por ambos extremos con CuO muy seco.
- Un extremo del tubo se pone en comunicación con una fuente de oxígeno puro y el otro extremo con una serie de tres tubos que denominaremos **de absorción**: el primero, un tubo en U lleno de piedra pómez impregnada de H_2SO_4 ; el segundo, un tubo de bolas, de Liebig, con solución de KOH y el tercero (tubo testigo), contiene en su parte próxima o rama izquierda, potasa sólida en pequeños fragmentos y en la rama derecha pómez sulfúrica.
- Se pesan los tres tubos con su contenido. Antes de unir los tubos de absorción, se limpia el tubo de combustión con una corriente de oxígeno que arrastra las últimas muestras de humedad. Se conectan los tubos de absorción y se calienta el tubo de combustión empezando en A y avanzando hacia C, luego se calienta de B hacia N; la región donde está la capsula con la sustancia se calienta de última, cuando ya el resto del tubo ha llegado al rojo oscuro; al mismo tiempo se hace pasar la corriente de oxígeno hasta terminar el procedimiento.
- Se deja enfriar y luego se hace pasar aire puro y seco para expulsar el oxígeno y se pesa cada una de las partes del aparato de absorción por separado. El aumento del peso del primer tubo da el peso del agua formada; el aumento de peso del segundo tubo da el peso del CO_2 formado y el tercer tubo (tubo testigo) no debe haber aumentado de peso.



Figura 20. La calcinación es uno de los procedimientos más simples para el análisis elemental cualitativo.

EJERCICIO

Consulta sobre algunas técnicas empleadas en análisis elemental cuantitativo.

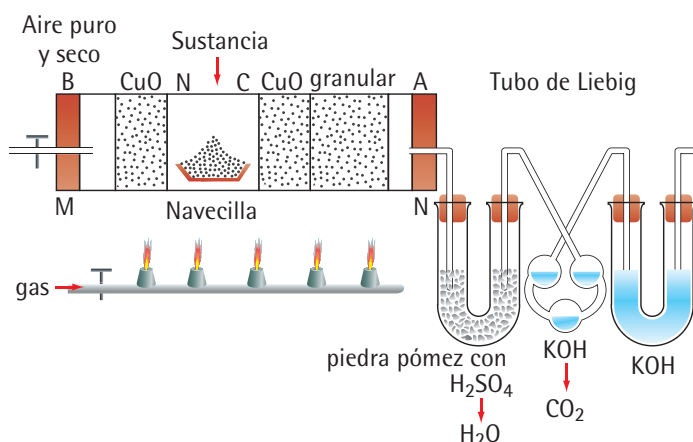


Figura 21. Equipo empleado por Dumas para la determinación cuantitativa de nitrógeno.



Figura 22. La síntesis de un compuesto orgánico implica mucha paciencia y experimentos cuidadosos.

EJEMPLOS

Supongamos que después de realizar un procedimiento similar al anterior, se encuentra que el aumento de peso del primer tubo fue de 1,287 g y que el aumento de peso del segundo tubo fue de 2,108 g. Procedemos entonces de la siguiente manera:

- Si en un mol de agua (18 g) hay (2 g) de hidrógeno, entonces en 1,287 g de agua habrá:

$$X = \frac{2 \text{ g de H} \cdot 1,287 \text{ g de H}_2\text{O}}{18 \text{ g de H}_2\text{O}} = 0,143 \text{ g de H}$$

- Si en un mol de CO_2 (44 g) hay 12 g de carbono, en 2,108 g de CO_2 tenemos

$$X = \frac{12 \text{ g de C} \cdot 2,108 \text{ g de CO}_2}{44 \text{ g de CO}_2} = 0,575 \text{ g de C}$$

- Como la suma de la masa del hidrógeno y el carbono corresponde a 0,718 g y la masa de la sustancia analizada fue de un gramo, la diferencia nos dará el peso del oxígeno presente en la muestra:

$$1 - 0,718 = 0,282 \text{ g de oxígeno}$$

Otros métodos de análisis cuantitativo son:

- Pesar el bióxido de carbono y el vapor de agua formados luego de la calcinación del compuesto en estudio, para calcular el porcentaje de carbono e hidrógeno presentes en el compuesto.
- Determinación del porcentaje de nitrógeno, ya sea, calculando la cantidad de nitrógeno libre producido (método de Dumas); o a partir de la cantidad de amoníaco producida, en exceso de ácido sulfúrico (método de Kjeldahl).

2.4 Síntesis orgánica

La síntesis orgánica es el proceso químico por el cual se obtiene un compuesto. Se denomina **síntesis orgánica total** si la síntesis se realiza a partir de sustancias elementales y **síntesis parcial**, si ésta se realiza partiendo de sustancias complejas que se usan como materia prima. El proceso de síntesis sigue secuencias ordenadas en las cuales un compuesto se combina con un segundo, éste con un tercero y así sucesivamente hasta obtener el compuesto deseado. La síntesis orgánica se puede dar de forma natural, tal como ocurre en el proceso de fotosíntesis, o en la síntesis de proteínas. Pero también puede ser el resultado del trabajo experimental que se lleva a cabo en laboratorios (figura 22).

En este sentido, la síntesis orgánica se realiza con dos propósitos básicos. Veamos.

En primer lugar, para obtener un compuesto de interés y en segundo lugar, para confirmar los resultados obtenidos a partir del análisis de una sustancia desconocida. Con base en estos datos, que resumen las propiedades físico-químicas y la composición elemental de una muestra, es posible proponer un modelo que represente cómo están distribuidos espacialmente los átomos en el compuesto. La confirmación de la veracidad del modelo se deriva de la síntesis orgánica del mismo.



Para ello se intenta sintetizar la misma molécula a partir de moléculas menores, de estructura ya establecida, utilizando únicamente aquellas reacciones químicas que se sabe proceden inequívocamente. Si se prueba que las propiedades físicas, químicas y biológicas del producto sintético son idénticas en todos los aspectos a las del correspondiente compuesto no sintético se dice entonces que la estructura está confirmada por síntesis.

2.5 Fórmulas químicas

Uno de los resultados finales de los métodos de análisis y síntesis es la elucidación de la fórmula del compuesto. Una **fórmula química** es una representación gráfica de la molécula de la sustancia en estudio. Para una misma sustancia existen distintos tipos de fórmulas, cada una de las cuales proporciona información diferente (figura 23). Vamos a mencionar algunas de ellas.

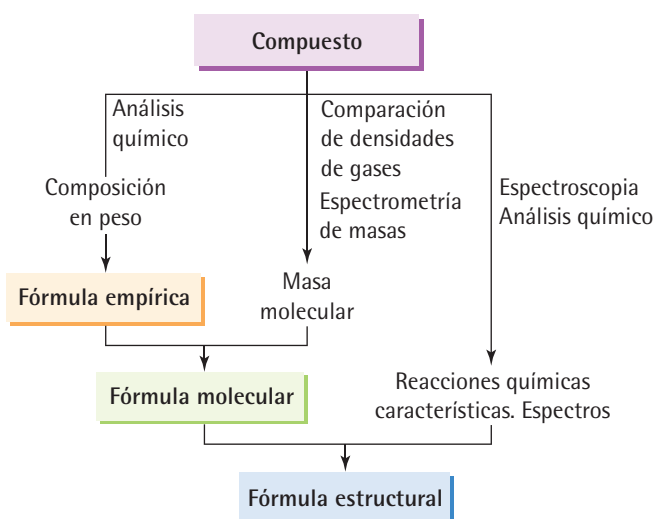


Figura 23. El esquema indica algunos procedimientos empleados en la determinación de la fórmula de un compuesto.

2.5.1 Fórmula empírica

Indica la relación proporcional entre el número de átomos de cada elemento presente en la molécula, sin que esta relación señale necesariamente la cantidad exacta de átomos. La palabra **empírica** significa “basada en la observación y medida”. La fórmula empírica se puede determinar a partir del porcentaje de peso correspondiente a cada elemento. Como es la que menos información da, se conoce también como **fórmula mínima o condensada**. Así por ejemplo, la expresión CH_2O , corresponde a la fórmula mínima de la glucosa, aun cuando su fórmula molecular es $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, indicando la cantidad absoluta de átomos presentes.

2.5.2 Fórmula esquemática o estructural

Indica las posiciones que ocupan unos átomos con relación a los otros, es decir, da información acerca de la estructura de la molécula. Por ejemplo, los siguientes diagramas muestran la distribución espacial de los átomos en las moléculas de benceno y eteno:

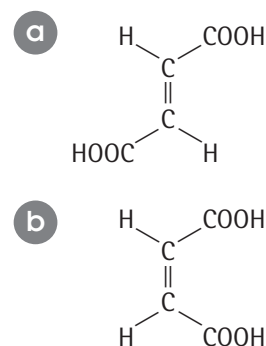
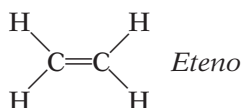
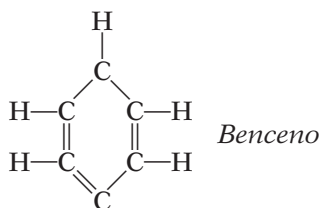


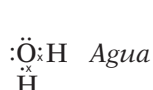
Figura 24. Fórmulas espaciales de: a) ácido fumárico y b) ácido maleico.

2.5.3 Fórmula espacial o estereoquímica

Representa la posición relativa de los átomos, situados en el espacio, tridimensionalmente (figura 24).

2.5.4 Fórmula electrónica

Indica el carácter electrónico de los átomos en la molécula, o si la unión entre ellos es iónica o covalente, como puede verse en los siguientes ejemplos:



EJERCICIO

1. ¿Qué información proporciona una fórmula química?
2. De los diferentes tipos de fórmula química, ¿cuál puede ser el más útil en química orgánica? ¿Por qué?



2.5.5 Determinación de la fórmula de un compuesto

Vamos a ilustrar cómo se determinan las fórmulas empírica y molecular de un compuesto dado, a través de los siguientes ejemplos de aplicación.

* EJEMPLOS

Del análisis elemental cuantitativo de 0,2 g de una sustancia orgánica se obtienen 0,2934 g de CO₂ y 0,12 g de H₂O cuando dicha muestra se quema completamente. Utilizando esta información determinaremos la fórmula empírica de dicho compuesto:

- En primer término, calculamos cuántos gramos de C, H y O están presentes en las cantidades de CO₂ y H₂O obtenidas:

— Gramos de carbono:

Si un mol de CO₂ pesa 44 g, de los cuales, 12 g corresponden al C, en 0,2934 g de CO₂ habrá:

$$\frac{12 \cdot 0,2934}{44} = 0,08 \text{ g de C}$$

estos son los g de C que provienen de la muestra.

— Gramos de hidrógeno:

Si un mol de H₂O pesa 18 g, de los cuales 2 g son de H, en 0,12 g de H₂O habrá:

$$\frac{2 \cdot 0,12}{18} = 0,0133 \text{ g de H}$$

estos son los g de H que provienen de la muestra.

— Gramos de oxígeno:

Si 0,2 g del compuesto contienen 0,08 g de C y 0,0133 g de H, el peso restante corresponderá a los gramos de oxígeno:

$$0,2 \text{ g muestra} - (0,08 \text{ g de C} + 0,0133 \text{ g de H}) = 0,1067 \text{ g de O}$$

- Con base en la cantidad presente de cada elemento, en una cantidad dada del compuesto (0,2 g), calculamos el porcentaje en peso que cada elemento representa, es decir, la composición centesimal del compuesto:

$$\text{C} = \frac{0,08}{0,2} \cdot 100 = 40\%$$

$$\text{H} = \frac{0,0133}{0,2} \cdot 100 = 6,6\%$$

$$\text{O} = \frac{0,1067}{0,2} \cdot 100 = 53,4\%$$

En otras palabras, en 100 g del compuesto hay 40 g de C, 6,6 g de H y 53,4 g de O.

- A continuación, calculamos el cociente atómico, es decir, el número de moles de átomos de cada elemento contenidos en el respectivo porcentaje. Para ello dividimos el correspondiente porcentaje entre el peso atómico del elemento:

$$\text{C} = 40/12 = 3,3 \text{ moles de átomos}$$

$$\text{H} = 6,6/1 = 6,6 \text{ moles de átomos}$$

$$\text{O} = 53,4/16 = 3,3 \text{ moles de átomos}$$

Para obtener la cantidad absoluta de moles de átomos de cada elemento, dividimos las cantidades obtenidas entre el valor más pequeño de éstas, es decir, 3,3. De este modo:

$$3,3 \text{ moles de átomos de C} / 3,3 = 1 \text{ mol de átomo de C}$$

$$6,6 \text{ moles de átomos de H} / 3,3 = 2 \text{ moles de átomos de H}$$

$$3,3 \text{ moles de átomos de O} / 3,3 = 1 \text{ mol de átomo de O}$$

Esto indica que, por cada dos átomos de C hay un átomo de H y de O, respectivamente.

- Con esta información deducimos que la fórmula empírica del compuesto es CH₂O. Dado que los pesos atómicos de C, H y O son respectivamente 12, 1 y 16, obtenemos que el peso de la fórmula mínima es 30 g.

- Para calcular la fórmula molecular es necesario saber cuánto pesa un mol de la sustancia. Supongamos que, a través de análisis espectroscópicos obtenemos un valor de 180 g. Esto significa que la fórmula molecular es un múltiplo de la fórmula empírica. Dado que el peso según esta fórmula es 30 g, sabemos entonces que el peso molecular derivado de la fórmula molecular es seis veces más alto. En conclusión, la fórmula molecular de compuesto es C₆H₁₂O₆.



Interpreta

- 1 Uno de los resultados finales del análisis y síntesis de las sustancias es la deducción de su fórmula química. Completa la siguiente información teniendo en cuenta que el análisis de varias sustancias formadas por carbono y cloro, arrojó los siguientes resultados.

% de C	% de Cl	Masa molecular	Fórmula molecular
10,13	89,97	237	
11,25	88,75	320	
25,26	74,74	285	

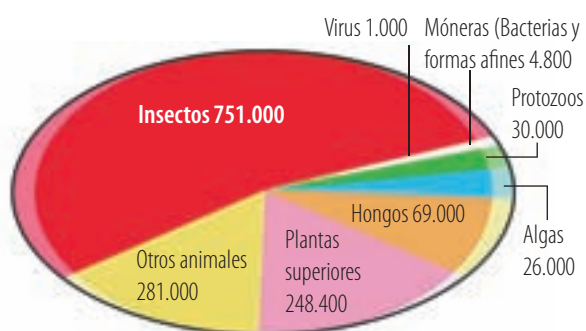
- 2 La mayoría de los compuestos orgánicos arden en presencia de oxígeno, formando dióxido de carbono y agua. Explica:

- ¿Qué tipo de reacción se lleva a cabo en este proceso?
- ¿Qué puedes deducir de la composición de los compuestos orgánicos si los resultados de su combustión son CO_2 y H_2O ?
- ¿Qué otros elementos pueden estar presentes en los compuestos orgánicos?

Argumenta

- 3 Los vegetales, animales, hongos, protistas y móneras constituyen el gigantesco mundo de los seres vivos. En su composición química tienen un rasgo común y es que todos poseen átomos de carbono en su estructura. Responde:

- ¿Son los seres vivos los únicos que poseen estructuras carbonadas?
- ¿Qué compuestos orgánicos están presentes en los seres vivos?
- ¿Qué utilidad tienen los compuestos orgánicos en la vida moderna?



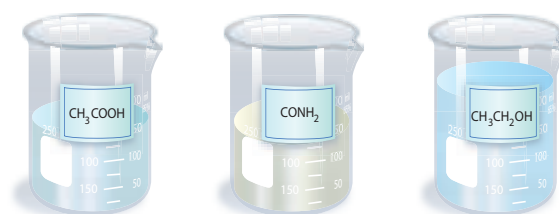
- 4 Lee atentamente la información de la siguiente tabla y explica por qué algunos compuestos orgánicos se disuelven en agua.

Nombre del compuesto	Soluble en agua
Alcohol etílico	Sí
Glicerina	No
Aceite	No
Acetona	Sí
Azúcar	Sí
Parafina	No
Gasolina	No
Ácido cítrico	Sí

Propone

- 5 Hasta la mitad del siglo XIX se consideraba que los compuestos orgánicos únicamente podían producirse en el interior de los organismos. Esta idea fue replanteada por Wholer, Kolbe y Berthelot, quienes prepararon en el laboratorio compuestos como la urea, el ácido acético y el etanol, que hasta entonces solo se obtenían a partir de materia viva.

En este último siglo se han obtenido sustancias totalmente sintéticas. Al sintetizar sustancias orgánicas en el laboratorio, se han duplicado, imitado y mejorado las elaboradas en las células de los organismos. Explica:



- ¿Qué elementos comunes conforman las sustancias mencionadas?
- ¿Por qué crees que la síntesis de la urea, del alcohol y del ácido acético incrementaron el avance de la química orgánica?
- ¿Para qué se utilizan estas sustancias en la vida diaria?



Actividades



Verifica conceptos

1 La palabra **orgánico** tiene diferentes significados según el contexto en que se utilice. Identifica el significado que tiene el término en cada una de las siguientes afirmaciones:

- Los fertilizantes orgánicos son apropiados para los cultivos.
- Los alimentos orgánicos son saludables.
- La química orgánica estudia los compuestos que contienen carbono.

2 Lavoisier y Davy (1778-1829) descubrieron que el diamante era otra forma del carbón, al quemar diamantes en una atmósfera enriquecida con oxígeno y obtener como resultado dióxido de carbono. Este descubrimiento dio inicio a una nueva etapa de la alquimia en la que se trató de convertir formas baratas de carbono en diamantes, lo cual resultó infructuoso. Responde:

- ¿Es posible un método para lograrlo? Si tu respuesta es afirmativa, explícalo.
- ¿A quién le puede interesar dicho proceso?

3 Los elementos químicos presentes en los seres vivos reciben el nombre de **bioelementos**. Se considera que aproximadamente un 80% de la masa corporal corresponde a agua formada por hidrógeno y oxígeno, y se ha comprobado que el elemento que se encuentra en mayor proporción en la masa restante es el carbono. Explica:

- ¿Por qué al carbono, el hidrógeno y el oxígeno se les denomina bioelementos?
- ¿Qué otros elementos están presentes en los seres vivos?
- ¿Qué diferencias existen entre los oligoelementos y los macroelementos?

4 Clasifica los siguientes compuestos según sean orgánicos o inorgánicos:

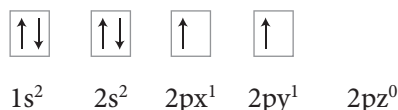
Fórmula química	Orgánico	Inorgánico
H_2SO_4	Sí	
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$		
NaCl		
CH_4		
CH_3COOH		



Analiza y resuelve

5 La configuración electrónica del carbono explica las posibilidades de combinación que este tiene consigo mismo y con otros elementos.

- ¿Cómo puedes explicar este comportamiento del carbono?
- ¿Por qué se hace necesario que el carbono se hibride?
- ¿Cómo logra el carbono la estabilidad entre sus enlaces?



6 La mayoría de los compuestos orgánicos creados por el ser humano no pueden ser degradados por los organismos descomponedores, porque estos no tienen las enzimas que requieren para hacerlo. Los principales tipos de productos no biodegradables son los plásticos, los aceites, las grasas, los hidrocarburos, los fenoles y los clorofenoles. Los plásticos constituyen el 20% del volumen de la basura en los vertederos de una ciudad. Las grasas y los aceites son difíciles de metabolizar por las bacterias y forman películas sobre el agua y el suelo, que perjudican a los seres vivos. Los fenoles y clorofenoles son comunes en los desechos industriales. Al acumularse en el agua dañan su calidad, producen malos olores y la hacen imponible. Responde:

- ¿Qué podemos hacer para reducir la contaminación causada por estos compuestos?
- ¿Por qué los plásticos, los aceites y los clorofenoles no se pueden degradar?





Problemas básicos

7 Identifica el tipo de enlace y de hibridación que presentan los siguientes compuestos:

- a) CH_4
- b) $\text{CH}_2=\text{CH}_2$
- c) $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$
- d) $\text{CH}\equiv\text{CH}$
- e) $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$

8 Explica cuál de los siguientes compuestos presenta el punto de ebullición más alto. Justifica tu respuesta.

- a) Agua
- b) Etanol
- c) Propanona
- d) Vinagre
- e) Butanol

9 Responde: ¿Cuál de los siguientes compuestos orgánicos presenta hibridación sp ?

- a) CCl_4
- b) CH_3-CH_3
- c) $\text{CH}\equiv\text{CH}$
- d) $\text{CH}_2=\text{CH}_2$
- e) CH_4

10 Indica cuál de los siguientes elementos no está presente en los seres vivos.

- a) Azufre
- b) Calcio
- c) Fósforo
- d) Hierro
- e) Mercurio

11 En el ser humano están presentes otros elementos, además de los bioelementos primarios, y cada uno de ellos cumple una determinada función. Al respecto, completa la siguiente tabla:

Elemento	Función
Sodio	
Magnesio	
Cobre	
Cromo	
Flúor	
Potasio	

Mantiene el equilibrio osmótico y es vital para la conducción del impulso nervioso.

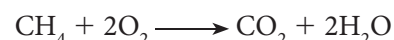


Problemas de profundización

12 El calor de combustión de una sustancia es la energía liberada durante la combustión. Para poder predecir el calor de combustión de un compuesto químico es necesario determinar cuánta energía se requiere para romper los enlaces y cuánta se libera al formar nuevos enlaces; la diferencia entre ambas energías es el calor de combustión. En la siguiente tabla aparecen los valores de energía de distintos tipos de enlace.

Tipo de enlace	$\text{C}-\text{H}$	$\text{O}=\text{O}$	$\text{C}=\text{O}$	$\text{H}-\text{O}$
Energía kJ/mol	413	497	795	492

13 Determina el calor de combustión en la siguiente reacción:



Responde:

- a) ¿El calor de combustión producido por un compuesto que contiene cinco carbonos será equivalente al producido por el metano? Explica por qué.
- b) En la cocina se utilizan gas propano y gas natural. ¿Cuál produce mayor calor de combustión?

14 En 1977, en California, un grupo de científicos a bordo del sumergible "Alvin" descubrió a gran profundidad, donde no llega la luz, un importante grupo de animales invertebrados, entre ellos unos extraños gusanos de más de dos metros de longitud. Todos ellos se encontraban cerca de chimeneas que proyectaban chorros de agua negra, muy rica en sulfuros de hidrógeno, a más de 350°C . A pocos kilómetros de las chimeneas ya no había sulfuro y desaparecía cualquier indicio de vida.

La fuente metabólica de glucosa proviene en este caso, no de la fotosíntesis sino de la quimiosíntesis mediante la acción de bacterias que utilizan el metano producido en las chimeneas como fuente de carbono y elaboran glucosa a partir de él. También en este medio se ha descubierto la acción de bacterias que utilizan el sulfuro de hierro de las chimeneas y producen sulfato. Explica:

- a) ¿Qué diferencias existen entre la fotosíntesis y la quimiosíntesis?
- b) ¿Qué elementos químicos constituyen el metano y el sulfuro de hierro?



Actividades

- 1 Una de las actividades más importantes de la química es el análisis químico, o el arte de reconocer diferentes sustancias y de determinar sus constituyentes. Esta actividad está presente en todas las áreas de la industria y de la investigación. Por ejemplo, en medicina conocer la concentración de glucosa o de colesterol en la sangre de un paciente, contribuye a evaluar su estado de salud; en Ingeniería conocer las propiedades de un determinado material ofrece información sobre la duración de un puente o un edificio que se construya. Explica:

- ¿Cuáles son los pasos de un análisis químico?
- ¿En qué se diferencia el análisis de un material orgánico y de un material inorgánico?
- ¿En qué otras áreas del conocimiento se utiliza el análisis químico?

- 2 Nuestro organismo produce y secreta sustancias necesarias para su funcionamiento. Averigua los componentes de las siguientes sustancias presentes o producidas en el cuerpo humano y registra los resultados en la tabla:

Sustancias	Componentes
Sangre	
Jugo gástrico	
Jugo pancreático	
Bilis	
Saliva	
Orina	
Heces	
Sudor	



Analiza y resuelve

- 3 Con base en los datos de la tabla construye una gráfica y contesta las preguntas:

- ¿Qué elementos se encuentran en menor porcentaje?

Símbolo	% presente
O	65%
C	18,5%
H	9,5%
N	3,2%
Ca	1,5%
P	1,0%
K	0,4%
S	0,3%
Ma	0,2%
Cl	0,2%
Mg	0,1%
I	0,1%
Fe	0,1%

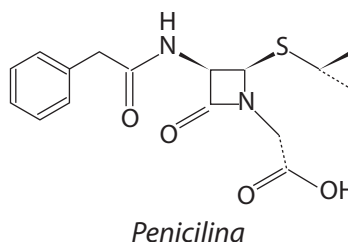
- ¿En qué forma química se encuentran estos elementos en el interior del cuerpo humano? Por ejemplo, el hidrógeno y el oxígeno están presentes en forma de agua.
- ¿Qué le sucede a una persona cuya dieta diaria es escasa en calcio?

- 4 El término **antibiótico** proviene de las palabras: **anti**, **contra** y **bios**, **vida**. Los antibióticos son producidos por organismos vivos capaces de inhibir en pequeñas cantidades los procesos vitales de ciertos microorganismos, destruyendo e impidiendo su desarrollo y reproducción.

Los antibióticos son sustancias químicas diversas, complejas y de gran peso molecular, cuya síntesis puede ser muy difícil y antieconómica en comparación con su obtención por medios naturales.

Un arquetipo de los antibióticos es la penicilina, que es un derivado del hongo *Penicillium notatum*, descubierto por Alexander Fleming en 1928.

Esta cepa demostró su eficacia frente a cultivos de laboratorio de algunas bacterias patógenas como las que producen la meningitis. Consulta y responde:





- ¿Qué proceso utilizó el científico Alexander Fleming para la síntesis de la penicilina?
- ¿Cuál es la fórmula molecular de la penicilina?
- ¿Qué función cumplen los antibióticos en nuestro cuerpo?
- ¿Cómo actúa la penicilina para eliminar las bacterias que ocasionan alguna enfermedad?
- ¿Qué elementos constituyen este antibiótico?



Problemas básicos

- Determina el porcentaje de carbono presente en los siguientes compuestos:**
 - Propano, C_3H_8 .
 - Ácido fórmico, $COOH$
 - Dióxido de carbono, CO_2
 - Monóxido de carbono, CO
 - Acetileno, C_2H_2
- Establece la composición porcentual de todos los elementos que conforman los siguientes compuestos:**
 - $C_{20}H_{42}$
 - $NaHSO_4$
 - $Al(OH)_3$
 - C_2H_6O
 - H_2CO_3
- En el análisis de la estrona, una hormona sexual femenina, se determinó que está constituida por 80% de carbono, 8,2% de hidrógeno y 11,8% de oxígeno, y que su masa molar es de 162 g. Determina la fórmula empírica y la fórmula molecular de esta hormona.**
- La aspirina es un medicamento utilizado para eliminar el dolor y reducir la fiebre. Su masa molecular es de 180 g/mol y está conformada por 60,0% de carbono, 4,48% de oxígeno y el resto de hidrógeno. Determina su fórmula molecular.**



Problemas de profundización

- El ácido úrico es un compuesto orgánico formado por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, $C_5H_4N_4O_3$.**

Se obtiene mediante el catabolismo de las purinas, componentes químicos presentes en el ADN, ácido desoxirribonucleico. Se adquiere mediante el consumo de alimentos que la contienen.

La mayor cantidad de este ácido es eliminada por medio de los riñones, por lo que aparece en la orina; el resto se expulsa en las heces. Consulta y responde:

- ¿Qué consecuencias ocasiona el exceso de ácido úrico en el organismo?
 - ¿Qué consecuencias conlleva la escasez de ácido úrico en la dieta alimentaria?
 - ¿En qué alimentos está presente este ácido?
- En medicina se analizan muestras de sangre, orina y materia fecal, entre otras. Explica:**
 - ¿Qué relación existe entre este análisis y el que se aplica para determinar la composición de una sustancia?
 - ¿Qué compuestos deben estar presentes en una muestra de sangre normal?
 - ¿Qué compuestos deben estar presentes en una muestra normal de orina?
 - La química analítica tiene como objeto de estudio el análisis cualitativo y cuantitativo de las sustancias que constituyen los materiales que encontramos en la naturaleza. Contempla las técnicas de manipulación y la fundamentación teórica para las separaciones, identificaciones y medidas. Las reacciones químicas son evidencia de los cambios cualitativos y cuantitativos que se dan en los procesos de la vida diaria y de la naturaleza.**

Para el análisis cuantitativo de las sustancias se aplican los métodos gravimétricos y volumétricos. Consulta y responde:

- ¿En qué se diferencian estos métodos de análisis?
- ¿En qué casos se aplica cada uno de ellos?
- ¿Qué es una marcha analítica?

Las propiedades únicas del átomo de carbono y el fenómeno de la vida



▲ La vida se basa en el carbono y el agua como compuestos principales.



▲ Los fullerenos y los nanotubos, moléculas constituidas únicamente por átomos de carbono, son actualmente estudiados por sus aplicaciones en nanotecnología.

La búsqueda de vida en otros planetas es uno de los grandes desafíos de la humanidad. Los científicos, en general, están convencidos de que toda forma de vida se basa en moléculas orgánicas que contienen cadenas de átomos de carbono que interactúan en un medio acuoso. La vida en la Tierra está basada en el carbono, hasta tal punto que no conocemos ningún compuesto relacionado con la vida, con excepción del agua, en el que el carbono no esté presente.

El carbono presenta unas propiedades químicas muy interesantes, que explican su papel en el origen de la vida:

- Su capacidad de unión con otros átomos: el carbono tiene valencia 4. La valencia es el número de uniones que es capaz de formar un átomo con cualquier otro, y el carbono puede hacerlo con otros cuatro, un valor de los más altos posibles en la química frente a uniones entre átomos.
- Su capacidad de formar grandes cadenas: el carbono es capaz de unirse consigo mismo para formar largas cadenas o incluso redes tridimensionales con uniones muy fuertes; el caso más extremo lo tenemos cuando cada átomo de carbono se une a otros cuatro, y forma la estructura del diamante, la sustancia más dura que se conoce.

El carbono es capaz de formar macromoléculas de compuestos con átomos de hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y fósforo, con los que forma compuestos muy complejos, como las proteínas y los ácidos nucleicos que hacen posible la vida.

La capacidad de formar compuestos basados exclusivamente en átomos de carbono es un hecho sorprendente de la química del carbono. Aparte de los tradicionales y bien conocidos grafito y diamante, en los últimos años se ha incrementado la investigación en la síntesis de compuestos como los fullerenos y nanotubos.

"Se han concedido muchos premios Nobel por mostrar que el universo no es tan simple como podíamos haberlo pensado".

Stephen Hawking

Los fullerenos son compuestos con forma de balones de fútbol que contienen alrededor de 60 a 70 átomos de carbono y que poseen propiedades únicas que permitirán la fabricación de nuevos medicamentos y materiales sofisticados. Los nanotubos, como su nombre lo indica, son tubos formados exclusivamente por átomos de carbono y que permitirán diseñar nanomáquinas gracias a los avances de la nanotecnología. Los nanotubos de carbono se investigan para fabricar microcables para implantes cerebrales.

Algunos científicos se preguntan si sería posible que otro elemento sustituyera al carbono en formas de vida no conocidas en otros planetas. Como respuesta a este interrogante, hay quienes especulan sobre la posibilidad de vida basada en cadenas de átomos de silicio, elemento que pertenece al mismo grupo del carbono en la tabla periódica y que también posee una valencia de 4. Pero la pregunta es: ¿Puede realmente existir vida basada en el silicio? La respuesta más generalizada en la comunidad científica es que no o es muy difícil. En primer lugar, porque el silicio no forma cadenas ni redes consigo mismo, ya que es un átomo demasiado grande para poder formar ese tipo de estructuras. Lo más cercano a estas estructuras son las que forma con el oxígeno en donde forma cadenas y redes tridimensionales de gran tamaño pero el resultado son estructuras cristalinas como las encontradas en la arena. Estos compuestos de silicio y oxígeno, es decir, de sílice, carecen de la complejidad de los compuestos de los seres vivos, son demasiado simples, además, todos son sólidos insolubles, que sólo reaccionan cuando están fundidos a temperaturas cercanas a los 1.000 °C, y por tanto, son totalmente incompatibles con cualquier forma de vida. Sólo existen unos compuestos de silicio que tienen algunas propiedades similares a las moléculas complejas de los seres vivos: los polímeros de silicona, constituidos por silicio, carbono, oxígeno e hidrógeno. Pero para formar siliconas también se necesitan átomos de carbono.

Las principales moléculas orgánicas necesarias para la vida son los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos. Todas ellas existen por las propiedades químicas únicas del átomo de carbono.



▲ Productos que contienen en su estructura átomos de carbono.

Reflexiono sobre lo leído...

- ¿Por qué el átomo de carbono puede formar moléculas complejas?
- ¿Por qué es difícil que una forma de vida extraterrestre esté basada en átomos de silicio?
- ¿Cuáles son las propiedades químicas que hacen tan especial al átomo de carbono?

Fortalezco mis valores...

- ¿Cómo influye la química orgánica en tu vida cotidiana?
- ¿Por qué es importante estudiar química orgánica?
- ¿Qué aplicaciones tendrá la química orgánica en el campo industrial?



¿Cómo elaborar el registro de una experimentación?

La sistematización detallada de un trabajo experimental es indispensable en el estudio y la interpretación de los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor. Una vez se ha realizado la práctica, se debe elaborar el informe de laboratorio, con el fin de organizar y analizar los resultados obtenidos, y establecer conclusiones que permitan relacionar la teoría con la práctica.

EL INFORME DEBE CONTENER:

- | | |
|---|--|
| 1. Título de la experiencia realizada. | trabajo experimental. Se recomienda elaborar diagramas de flujo o explicar cada uno de los pasos para desarrollar los experimentos planteados. |
| 2. El problema que se desea resolver al realizar la práctica. Puede estar formulado como pregunta. | |
| 3. La formulación de hipótesis, que consiste en proponer respuestas o explicaciones a la pregunta planteada. | 7. Análisis de resultados en el que se deben registrar las explicaciones e interpretaciones de los fenómenos observados durante la realización de la práctica. |
| 4. El fundamento teórico, que se basa en la consulta de diversas fuentes para informarse acerca del fenómeno, objeto de la práctica. Comprende los conceptos que permiten interpretar el fenómeno analizado en el trabajo experimental. | 8. Resultados experimentales, que hacen referencia a las observaciones cualitativas o cuantitativas de los fenómenos observados durante la experiencia. Se pueden registrar en tablas de resultados, gráficas, dibujos o esquemas. |
| 5. Lista de materiales y reactivos utilizados en la práctica. En el caso de los reactivos, se indican los nombres y los cuidados que se debe tener en su manipulación. | 9. Conclusiones, que son las respuestas a la pregunta planteada y dan cuenta de la falsedad o la certeza de la hipótesis. |
| 6. El procedimiento, que hace referencia a la descripción de las actividades realizadas en el | 10. Bibliografía, que comprende los registros detallados de las fuentes impresas y las direcciones de Internet consultadas. |

NORMAS DE SEGURIDAD

En el laboratorio de química se emplean sustancias químicas denominadas **reactivos químicos**. Todos ellos deben ser considerados potencialmente tóxicos y, por lo tanto, es preciso tomar precauciones y medidas de seguridad recomendadas como:

1. Usar bata, guantes y gafas de seguridad.
2. Identificar los símbolos de peligrosidad que aparecen en las etiquetas de los reactivos y tener en cuenta su significado:



3. Seguir las instrucciones del profesor.
4. Guardar los reactivos en un sitio seco y con buena ventilación, debidamente clasificados.
5. Marcar todos los recipientes que contengan algún reactivo químico, con la fórmula, el nombre, el símbolo de peligrosidad y la fecha de preparación.
6. Mantener alejadas del fuego las sustancias inflamables.
7. Nunca probar las sustancias químicas. Cuando sea necesario oler, llevar los vapores con precaución hacia la nariz y nunca acercar esta directamente al recipiente que contiene el reactivo.
8. Lavarse con abundante agua en caso de tener contacto con algún reactivo.
9. Nunca consumir alimentos o bebidas en el laboratorio de química.
10. Mantener cerradas las llaves del gas.



¿Cómo diferenciar los compuestos orgánicos e inorgánicos?

La química orgánica estudia los compuestos de carbono en los cuales este elemento se encuentra enlazado con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, principalmente. Los compuestos orgánicos presentan propiedades físicas y químicas que los diferencian de los inorgánicos. En esta práctica de laboratorio, vas a evidenciar las características de estas dos clases de sustancias químicas.

Conocimientos previos

Propiedades físicas de los compuestos orgánicos e inorgánicos.

Reactivos

Cloruro de sodio
Naftaleno

Materiales

- Aceite mineral
- 1 vaso de precipitados de 250 mL
- 1 mechero
- 1 termómetro
- Alambre de cobre

Experimento 1

Procedimiento

1. Prepara el montaje para determinar el punto de fusión. Introduce una pequeña cantidad de cloruro de sodio y de naftaleno triturados en dos tubos capilares diferentes y amárralos al termómetro con un alambre de cobre.
2. En el vaso de precipitados deposita 100 mL de aceite mineral y asegura el termómetro con unas pinzas cuidando de no tocar las paredes del vaso. Calienta y registra la temperatura cada dos minutos hasta que se estabilice. Registra los resultados en la siguiente tabla:

Tiempo (cada dos minutos)	Temperatura °C

3. Determina la temperatura de ebullición del agua y del alcohol, haciendo mediciones de temperatura cada dos minutos, y registra los resultados en la siguiente tabla:

Tiempo (cada dos minutos)	Temperatura °C

Análisis de resultados

1. Realiza la gráfica de los resultados obtenidos en la determinación de los puntos de fusión y de ebullición. ¿Qué puedes concluir?
2. ¿Cómo es el punto de ebullición de los compuestos orgánicos comparado con el de los compuestos inorgánicos?
3. ¿Cómo es la temperatura de fusión de los compuestos orgánicos comparada con la de los compuestos inorgánicos?



¿Cómo construir modelos moleculares?

Dada la complejidad de las moléculas orgánicas, en muchos casos se hace indispensable construir modelos moleculares que permitan visualizar las interacciones entre sus átomos.

En este laboratorio puedes elaborar tus propios modelos para explicar las estructuras de las moléculas orgánicas.

Conocimientos previos

Capacidad de enlace del átomo de carbono, hibridación y formas moleculares.

Materiales

- 50 ganchos clip
- 50 palos plásticos para colom-bina
- 1 metro de manguera para acuario
- Alicates
- Tijeras
- Plastilina



Experimento 1

Procedimiento

1. Dobla los ganchos clip formando una estrella con cuatro puntas, y pon un trozo de manguera en el centro. Estos serán los átomos de carbono con sus cuatro electrones. (figura 1).
2. Corta los palos de colombina de aproximadamente 2 cm. Estos serán los enlaces.
3. Con la plastilina forma pequeñas esferas para unir las al palo de colombina, estos son los átomos de hidrógeno.
4. Realiza el montaje de un grupo metilo, CH_3 , toma un carbono y en cada punta, coloca un enlace, y sobre este ubica un hidrógeno, tal como se muestra en la figura 2.
5. A partir de estas indicaciones, construye los modelos moleculares para los siguientes compuestos:



Hidrocarburo	Fórmula molecular
Metano	CH_4
Etano	CH_3CH_3
Propano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$
Butano	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
Ciclopropano	Δ
Ciclopentano	
Eteno	CH_2CH_2
Acetileno	CH CH

Análisis de resultados

1. ¿Qué clases de enlace presenta el átomo de carbono?
2. ¿A qué se debe la capacidad de enlace del carbono?
3. ¿Qué formas obtuviste al hacer las estructuras del metano, etano y propano?
4. ¿Qué formas obtuviste al elaborar las estructuras del ciclopropano y ciclopentano?



¿Cómo identificar algunos elementos en materia orgánica?

Al iniciar el estudio de la química orgánica es conveniente reconocer de manera experimental la presencia de los elementos que conforman los materiales orgánicos. En esta práctica determinaremos la presencia de carbono y nitrógeno.

Conocimientos previos

Análisis elemental cualitativo.

Reactivos

- Azúcar
- Urea
- Agua de cal
- Ácido sulfúrico
- Fenolftaleína

Materiales

- Lana natural
- Cabello
- Cereal
- Pinzas para tubo de ensayo
- 3 tubos de ensayo
- 1 Erlenmeyer de 100 mL
- 1 balón con desprendimiento lateral
- 1 manguera de 25 cm de longitud
- 1 espátula

Experimento 1

Procedimiento

1. En un tubo de ensayo deposita una pequeña muestra de materia orgánica.
2. Calienta la muestra en el mechero hasta que se calcine totalmente.
3. Observa los resultados. Si aparece un residuo de color negro, significa que la muestra contiene carbono.

Experimento 2

Procedimiento

1. Toma una pequeña muestra de urea en un balón de ensayo con desprendimiento lateral, seco y mézclala con cal sodada.
2. Vierte un poco de solución de fenolftaleína en el Erlenmeyer y conéctala con la solución de la muestra y la cal, utilizando la manguera. Calienta el tubo que contiene la muestra y observa. Si en la muestra hay nitrógeno, la solución indicadora tomará un color rojo.



Experimento 3

Procedimiento

1. Toma una pequeña cantidad de muestra orgánica en un tubo de ensayo.
2. Adiciona 2 o 3 mL de ácido sulfúrico concentrado y déjalo actuar durante unos minutos.
3. Observa los resultados. Si la muestra se ennegrece es porque contiene carbono.

Experimento 4

Procedimiento

1. Toma una pequeña muestra de cabellos o lana natural.
2. Con una pinza llévala a la llama del mechero y observa los resultados. El olor que se desprende es característico de la presencia de nitrógeno.

Análisis de resultados

1. ¿Qué otras muestras utilizadas en la vida diaria contienen nitrógeno?
2. ¿Qué reacciones se llevan a cabo en cada experimento?
3. ¿Qué productos se forman en la combustión de los compuestos orgánicos?
4. ¿Por qué el nitrógeno es importante en la agricultura?



UNIDAD

2

Compuestos orgánicos

Temas de la unidad

1. Clasificación y nomenclatura
2. Reacciones orgánicas



? Para pensar...

Aun cuando las sustancias orgánicas están compuestas por la combinación de unos pocos elementos, la variedad física, química y estructural que presentan es enorme. Dentro de este extenso horizonte de diversidad, es posible encontrar regularidades. Es así como los compuestos orgánicos se han clasificado en grupos, conocidos como grupos funcionales, caracterizados por un comportamiento físico-químico especial. De acuerdo con esta clasificación se ha desarrollado también un sistema de nomenclatura, que permite condensar en un nombre la información más relevante acerca del compuesto en cuestión.

Dedicaremos pues la primera parte de la unidad a mencionar las principales características de algunos de los grupos funcionales más importantes.

En la segunda parte, veremos los tipos de reacciones químicas que experimentan los diferentes compuestos orgánicos. Una vez más encontraremos regularidades dentro de un mundo de singularidades.

! Para responder...

- ¿En qué se diferencian el vino y el vinagre?
- ¿De dónde se obtienen los colorantes?
- ¿Qué tienen en común los aceites, el asfalto y el caucho de los neumáticos?



a



b



Figura 1. El petróleo (a) y el vinagre (b) son ejemplos de dos tipos de compuestos orgánicos diferentes (hidrocarburos y ácidos orgánicos, respectivamente), lo cual explica sus rasgos característicos.

1. Clasificación y nomenclatura

En todas las moléculas orgánicas se puede identificar una estructura básica, en la cual un armazón central, constituido por una cadena de carbonos, soporta un cierto número de átomos de otros elementos. A continuación conoceremos las diferentes clases de sustancias orgánicas y las normas que rigen su nomenclatura.

1.1 Diversidad de los compuestos orgánicos

Los compuestos orgánicos se clasifican en grupos o funciones químicas, que comparten ciertas características estructurales y un comportamiento físico-químico particular. Fue posible llegar a esta clasificación luego de comparar un elevado número de compuestos del carbono y observar que, compuestos con propiedades químicas muy diferentes contenían el mismo número de átomos de carbono, como por ejemplo: el metano, CH_4 , el metanol, CH_3OH , y el metanal, HCHO . Así mismo, varios compuestos con propiedades químicas muy similares, podían contener un número diferente de átomos de carbono. Por ejemplo, el metanol, CH_3OH , el etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, o el propanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, contienen respectivamente uno, dos o tres átomos de carbono, aún cuando todos son alcoholes.

1.2 Grupos funcionales

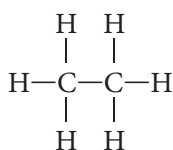
Un grupo funcional es un **átomo o un conjunto de átomos que forman parte de una molécula más grande; y que le confieren un comportamiento químico característico**. Así, el comportamiento químico de toda molécula orgánica, sin importar su tamaño y grado de complejidad, está determinado por el o los grupos funcionales que contiene. Por ejemplo, el grupo $-\text{OH}$, identifica a los alcoholes (figura 1).

1.2.1 Funciones químicas con enlaces carbono-carbono

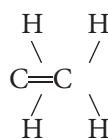
Este grupo funcional está representado por un conjunto de compuestos, conocidos como **hidrocarburos**. Los hidrocarburos son tal vez el grupo más amplio y diversificado de los compuestos orgánicos.

Si están formados por cadenas de carbonos, unidos a través de enlaces sencillos, con hidrógenos unidos a esta cadena, se denominan **alcanos**.

Dependiendo de la presencia de enlaces dobles o triples, los hidrocarburos se dividen en: **alquenos** y **alquinos**, respectivamente. Un tercer grupo, los arenos o aromáticos, presentan enlaces intermedios entre dobles y simples anillos de átomos de carbono:



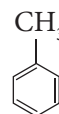
Etano
Alcano



Eteno
Alqueno



Acetileno
Alquino



Tolueno Areno
Aromático

EJERCICIO

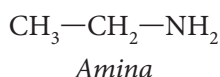
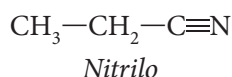
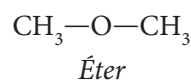
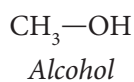
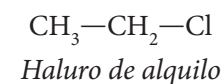
Elabora un concepto de grupo funcional e identifica los grupos funcionales de las sustancias mencionadas en el texto anterior.



En los alcanos el carbono tiene sus cuatro posibilidades de enlaces ocupadas, por lo que estos compuestos se conocen como hidrocarburos **saturados**, a diferencia de alquenos, alquinos y arenos que son **insaturados**.

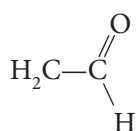
1.2.2 Funciones con enlaces sencillos entre carbono y átomos electronegativos

Si a una cadena sencilla de carbonos e hidrógenos, se encuentra unido un átomo electronegativo, como por ejemplo un halógeno, tenemos un grupo funcional conocido como **haluros o halogenuros de alquilo**. Si, por el contrario, a esta cadena se une un grupo OH^- , tenemos el grupo de los alcoholes. Ahora, si se trata de un átomo de oxígeno, uno de nitrógeno, un grupo NH_2 o S_2 , hablamos de **éteres, nitrilos, aminas o sulfuros**, respectivamente. En todos los grupos nombrados, un átomo de carbono se encuentra unido, a través de un enlace sencillo, a un átomo más electronegativo, que puede ser un halógeno, oxígeno, nitrógeno o azufre. Estos son algunos ejemplos:

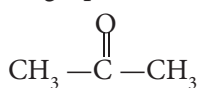


1.2.3 Funciones con un doble enlace carbono-oxígeno ($\text{C}=\text{O}$)

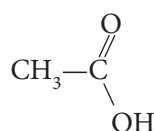
Estos compuestos son semejantes en muchos aspectos pero se diferencian en la naturaleza de los átomos unidos al carbono del grupo $\text{C}=\text{O}$ o carbonilo:



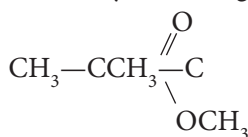
Aldehídos: tienen un carbono y un hidrógeno



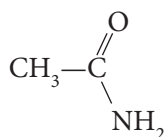
Cetonas: tienen dos carbonos



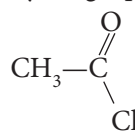
Ácidos carboxílicos: tienen un carbono y un grupo $-\text{OH}$



Ésteres: tienen un carbono y un oxígeno



Amidas: tienen un carbono y un grupo NH_2



Haluros de ácido: tienen un átomo halógeno, por ejemplo, cloro

EJERCICIO

Elabora una lista con diez sustancias orgánicas que conozcas y clasifícalas de acuerdo con la función a la que pertenezcan.

Vemos como todos estos compuestos, a pesar de tener la misma estructura básica, poseen átomos con una disposición espacial diferente. En el cuadro de la figura 2 se encuentran resumidas las principales funciones orgánicas.

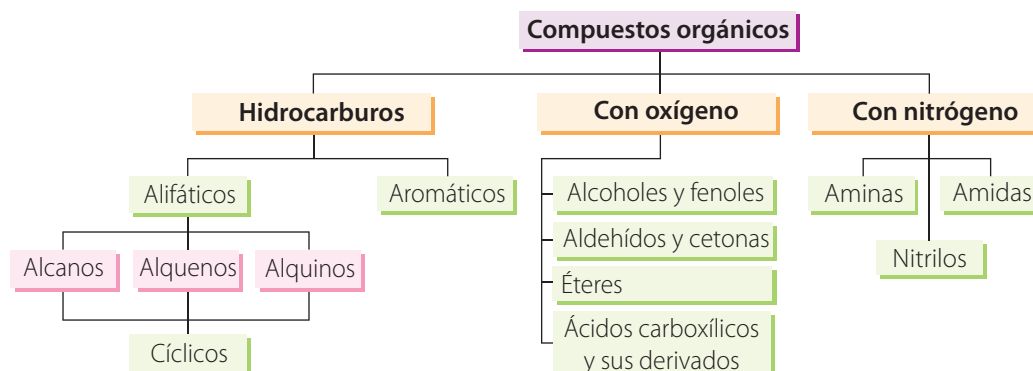


Figura 2. Clasificación de los compuestos orgánicos teniendo en cuenta los elementos presentes en la molécula.



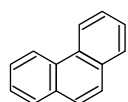
1.3 Series homólogas

Se denomina series **homólogas** al conjunto de compuestos que tienen el mismo grupo funcional, pero difieren en el número de átomos de carbono de sus moléculas, más específicamente en el número de unidades $-\text{CH}_2-$. Por ejemplo, la siguiente es una serie homóloga de hidrocarburos:



1.4 Clasificación según la estructura

Dentro de algunos grupos funcionales, los compuestos orgánicos se pueden subdividir de acuerdo con la forma o la estructura que presenten, como: **compuestos acíclicos o de cadena abierta** y **compuestos cíclicos o de cadena cerrada**. Sin embargo los límites entre unos y otros no son claros de tal forma que podemos estudiarlos paralelamente estableciendo en forma permanente comparaciones entre unos y otros.



Fenantreno

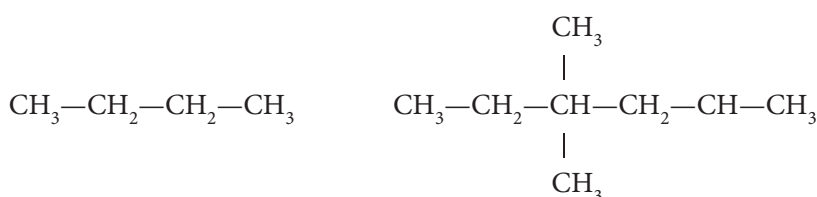


Benceno

Figura 3. Algunos ejemplos de compuestos aromáticos.

1.4.1 Compuestos acíclicos o alifáticos

Pueden ser de cadena lineal o ramificada:



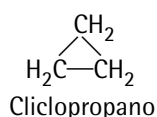
Cadena lineal

Cadena ramificada

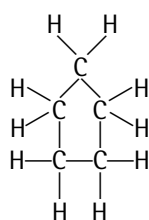
1.4.2 Compuestos cíclicos

Dentro de este grupo podemos diferenciar, a su vez, dos grandes grupos:

- **Compuestos isocíclicos:** son compuestos en los que los ciclos están formados únicamente por uniones de carbono. Dentro de este grupo, encontramos compuestos aromáticos y compuestos alicíclicos.
 - **Compuestos aromáticos:** corresponden a una clase muy especial de sustancias, caracterizadas porque presentan invariablemente una molécula de benceno como base (figura 3). Como derivados del benceno se conocen gran cantidad de sustancias de importancia bioquímica e industrial.
 - **Compuestos alicíclicos:** pertenecen a este grupo una serie de compuestos que, a pesar de presentar una estructura cíclica, poseen propiedades físico-químicas muy similares a las de los compuestos alifáticos (figura 4).
- **Compuestos heterocíclicos:** se diferencian de los anteriores en que al menos uno de los átomos que conforman la estructura cíclica es diferente al carbono (figura 5). Como puede observarse, en los compuestos cíclicos pueden existir en la misma molécula uno o varios anillos.



Ciclopropano

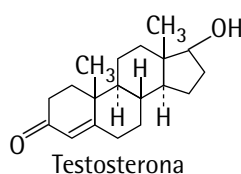


Ciclopentano



Ciclohexeno

Figura 4. Algunos ejemplos de compuestos alicíclicos.



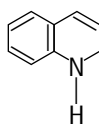
Testosterona



Furano



Piridina



Indol

Figura 5. Algunos ejemplos de compuestos heterocíclicos.

1.5 Nomenclatura de los compuestos orgánicos

Históricamente los nombres comunes o vulgares de los compuestos orgánicos surgieron arbitrariamente, en la mayoría de los casos a partir de la fuente desde donde fueron aislados. El creciente número de compuestos orgánicos hizo demasiado complicado el empleo de este tipo de nombres y obligó al desarrollo de sistemas de nomenclatura sistemáticos y racionales.



El sistema usado en la actualidad está basado en la estructura de los compuestos y las reglas que lo rigen fueron formuladas por la **Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC)**. En este sistema para una estructura particular corresponde un único nombre, que proporciona información sobre esta.

1.5.1 Algunas definiciones

La nomenclatura de los compuestos orgánicos se basa en el número de carbonos que formen parte de la estructura y en el tipo y posición ocupada por los grupos funcionales presentes. Antes de mencionar las reglas para nombrar estos compuestos, es importante definir algunos conceptos básicos:

- **Sustituyente:** átomo o grupo de átomos que se encuentran unidos a una cadena hidrocarbonada, reemplazando un átomo de hidrógeno correspondiente al alcano. Por ejemplo, si en la molécula de metano (CH_4), uno de los hidrógenos es reemplazado por un átomo de cloro, este será un sustituyente en la molécula original.
- **Radical:** átomo o grupo de átomos que poseen un electrón desapareado. Son altamente reactivos y suelen encontrarse como sustituyentes de moléculas mayores. Si se trata de un hidrocarburo, que ha perdido uno de los hidrógenos, el radical se denomina **grupo alquilo**. Por ejemplo, el radical correspondiente al metano es el **grupo metilo**, $-\text{CH}_3$. Observa que la terminación *-ilo*, hace referencia a que se trata de un radical (figura 6).

Nombre	Estructura	Prefijo
Metilo	CH_3-	Met
Etilo	CH_3CH_2-	Et
Propilo	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2-$	Prop
Isopropilo	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{CH}- \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array}$	iso-prop
Butilo	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$	But
Butilo secundario	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{CH}- \\ \diagup \\ \text{CH}_3\text{CH}_2 \end{array}$	Sec-but
Isobutilo	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \diagdown \\ \text{CHCH}_2- \\ \diagup \\ \text{CH}_3 \end{array}$	iso-but
Butilo terciario (t-butilo)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	ter-but

Figura 6. Estructura de los radicales más corrientes.

1.5.2 Nomenclatura de hidrocarburos

Recordemos que los hidrocarburos son cadenas de carbonos sobre los cuales se encuentran unidos átomos de hidrógeno. Para nombrarlos se tiene en cuenta el número de carbonos que están determinados por un prefijo como **met** (1 C), **et** (2 C), **prop** (3 C), **but** (4 C) y la terminación que indica la función que se desea nombrar *ano*, *eno*, *ino*. En el cuadro de la figura 6, se ilustra el nombre de diferentes alcanos de acuerdo con el número de carbonos presentes. En el caso de los alquenos y alquinos, los prefijos se conservan, mientras que en lugar de la terminación *-ano* se añade *-eno* o *-ino*, según el caso. Si se trata de un grupo alquilo, se utiliza la terminación *-ilo* o *-il*. El procedimiento para nombrar cadenas hidrocarbonadas más complejas es el siguiente:

- En primer lugar, se escoge la cadena de carbonos más larga. Esta constituye el alcano principal con respecto al cual se nombra la estructura, considerando las cadenas menores como sustituyentes.
- Luego, se numeran los átomos de carbono constitutivos de la cadena principal, comenzando por el extremo desde el cual los carbonos que posean el grupo funcional o los sustituyentes reciban los números más bajos posibles.
- A continuación, se indican los nombres del grupo o los sustituyentes de la cadena principal, precedidos del número que corresponde al átomo de carbono al que están unidos. Si existen dos grupos sobre el mismo carbono, se repite el número delante del segundo grupo. Si un mismo sustituyente aparece más de una vez en la cadena, los números de las posiciones que ocupan se enumeran, separados entre sí por comas, y se usan los prefijos *di*, *tri*, *tetra*, etc., para indicar el número de veces que aparece dicho grupo.

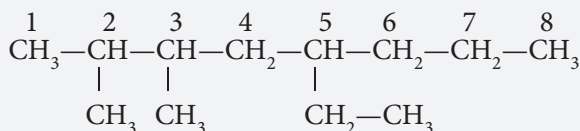
Número de carbonos (n)	Nombre del alcano	Fórmula general $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$
1	Metano	CH_4
2	Etano	C_2H_6
3	Propano	C_3H_8
4	Butano	C_4H_{10}
5	Pentano	C_5H_{12}
6	Hexano	C_6H_{14}
7	Heptano	C_7H_{16}
8	Octano	C_8H_{18}
9	Nonano	C_9H_{20}
10	Decano	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$
20	Eicosano	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$
21	Eneicosano	$\text{C}_{21}\text{H}_{44}$
40	Tetracontano	$\text{C}_{40}\text{H}_{82}$

Figura 7. Nombre de diferentes alcanos, de acuerdo con el número de carbonos presentes.



* EJEMPLOS

1. ¿Cuál es el nombre del siguiente compuesto, según el sistema de nomenclatura de la IUPAC?



Dado que la cadena de carbonos presenta únicamente enlaces sencillos, se trata de un alcano, por lo que el nombre debe terminar en -ano.

Ahora, vemos que la cadena más larga es de ocho carbonos por lo tanto el alcano principal es un octano.

Se observan, igualmente, algunos grupos alquílicos, a manera de sustituyentes, que se desprenden de la cadena principal, por lo que el compuesto es un octano ramificado.

Numerando la cadena de izquierda a derecha, los sustituyentes están en los carbonos C_2 , C_3 y C_5 , mientras que de derecha a izquierda, están en C_4 , C_6 y C_7 . De acuerdo con las normas de la IUPAC, escogemos la primera opción.

A continuación identificamos los sustituyentes como:

- un grupo metilo ($-\text{CH}_3$), sobre los carbonos C_2 y C_3 y,
- un grupo etilo (CH_3-CH_2-) sobre C_5 .

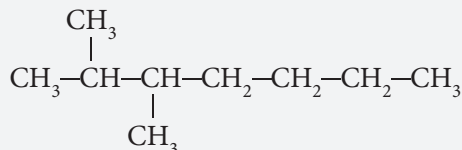
Con base en la información anterior concluimos que el nombre correcto para este compuesto es: 2,3-dimetil-6-etil octano.

Fíjate en el uso correcto de signos como los guiones y las comas.

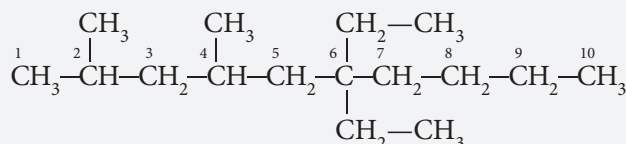
2. Si una sustancia orgánica recibe la denominación de 2,3dimetil-heptano, escribir la estructura correspondiente.

Del nombre del compuesto se deduce inicialmente que se trata de un alcano (terminación -ano), cuya cadena principal cuenta con siete átomos de carbono (prefijo hepta-). Ahora, a partir de las indicaciones numéricas, sabemos que la cadena hidrocarbonada se halla sustituida en los carbonos 2 y 3, donde tiene un grupo alquílico metilo $-\text{CH}_3$ (2,3 dimetil).

Con esta información es posible dibujar la estructura del compuesto, tal como se ilustra a continuación:



3. Escribir el nombre correcto, según la IUPAC, para la siguiente estructura:



La cadena más larga contiene diez átomos de carbono; luego se trata de un decano, sobre el cual vemos una serie de sustituyentes.

Numerando la cadena de izquierda a derecha, los sustituyentes se encuentran sobre los carbonos C_2 , C_4 y C_6 . Vemos que se trata de dos grupos metilo ($-\text{CH}_3$) ubicados sobre los carbonos C_2 , C_4 y dos grupos etilo (CH_3-CH_2-) ubicados sobre C_6 .

A diferencia del ejemplo número 1, en este caso, un mismo sustituyente se repite dos veces sobre el mismo carbono. Por lo tanto, el nombre correcto para este compuesto es: 2,4-dimetil-6,6-dietildecano.

1.5.3 Nomenclatura de hidrocarburos cíclicos

Para nombrar un compuesto cíclico solamente se debe tener en cuenta la siguiente norma: **aquellos compuestos donde la cadena principal sea un anillo saturado o insaturado (diferente del benceno), se nombran anteponiendo el prefijo ciclo- al nombre correspondiente del hidrocarburo. Luego se siguen las mismas normas establecidas por la IUPAC para los hidrocarburos alifáticos** (figura 8).

1.5.4 Nomenclatura de grupos funcionales

En términos generales, los grupos funcionales mencionados en páginas anteriores, pueden analizarse como cadenas hidrocarbonadas con una serie de sustituyentes. En ese sentido, la nomenclatura de dichos compuestos se basa también en el número de átomos de carbono que constituyan la cadena principal, además de la especificación del grupo o grupos funcionales que se presenten como sustituyentes, a través del uso de sufijos (figura 9).



En los casos en los que haya más de un grupo funcional, se debe determinar cuál es el grupo funcional principal, según la siguiente jerarquía: ácido > éster > amida > aldehído > cetona > alcohol > amina > éter > alqueno > alquino > alcano. En el nombre del compuesto se indica primero la localización de los grupos funcionales secundarios y luego el grupo funcional principal. Luego, se cita la longitud de la cadena, de acuerdo con el sufijo correspondiente.

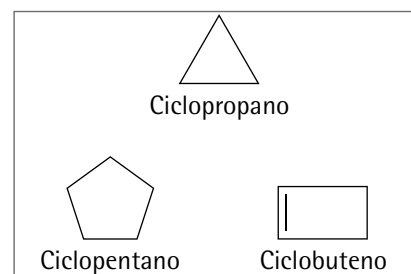


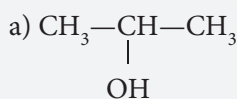
Figura 8. Algunos ejemplos de hidrocarburos cíclicos.

Grupo funcional	Sufijo	Ejemplo
Alcoholes ($-\text{OH}$)	-ol	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{OH}$ Etanol
Aldehidos $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{H} \end{array} \right)$	al o -aldehído	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{H}$ Etanal o acetaldehído
Cetonas $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}- \end{array} \right)$	-ona o -cetona	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_3$ Acetona o dimetil cetona
Ácidos carboxílicos $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{OH} \end{array} \right)$	Ácido...-oico	$\text{H}_3\text{C}-\text{C}(=\text{O})-\text{OH}$ Ácido etanoico o acético
Aminas ($-\text{NH}_2$)	-amina	$\text{H}_3\text{C}-\text{NH}_2$ Metil amina
Éster $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{O}-\text{C}- \end{array} \right)$	ato... ilo	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_3$ Etanoato de metilo
Amida $\left(\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C}-\text{NH}_2 \end{array} \right)$	amida	$\text{CH}_3-\text{C}(=\text{O})-\text{NH}_2$ Etanoamida
Éteres ($-\text{C}-\text{O}-\text{H}$)	éter	$\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ Dimetil éter

Figura 9. Sufijos para nombrar compuestos de los principales grupos funcionales.

* EJEMPLOS

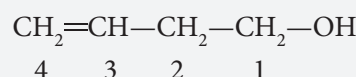
1. Indicar el nombre de los siguientes compuestos:



a) La cadena carbonada tiene tres carbonos y un grupo $-\text{OH}$; por lo tanto el nombre comenzará con el prefijo prop- y finalizará con el sufijo -ol. Debemos señalar a continuación la posición del grupo funcional $-\text{OH}$, que corresponde al carbono 2, con lo cual, el compuesto se denomina **2-propanol**.

b) En este caso, la cadena tiene cuatro carbonos, dos grupos funcionales $-\text{OH}$ o alcoholes y un doble enlace. Sabemos que el grupo $-\text{OH}$ tiene prelación sobre la presencia del doble enlace, por lo que, el nombre del compuesto comenzará con el prefijo but- a continuación del cual se encontrarán las terminaciones -en y -ol. La

cadena se numera de tal manera que al carbono que contiene el grupo $-\text{OH}$, le corresponda el número más bajo. De ahí, al doble enlace le corresponderá el número (3). El compuesto se llama entonces **3-buten-ol**. Nota que cuando el grupo funcional principal está sobre el carbono 1 no es necesario incluir en el nombre su posición.



2. ¿Qué significa la posición iso?

Cuando dos sustituyentes se encuentran dispuestos en el espacio en forma angular se le da la denominación *iso*. Por ejemplo,

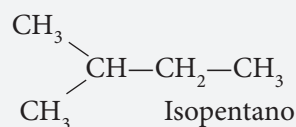




Figura 10. La difracción de rayos X es una técnica muy utilizada para determinar la distribución espacial de los átomos en una molécula.

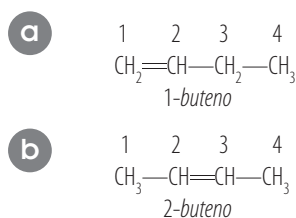


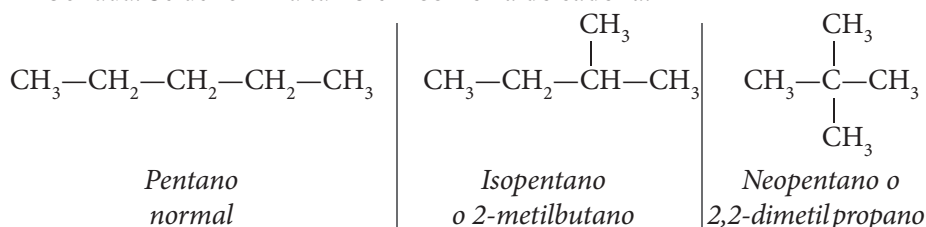
Figura 11. Isomería de posición del buteno, en el cual existen dos posibles posiciones para ubicar el doble enlace: a) entre los carbonos (1) y (2): 1-buteno, b) entre los carbonos (2) y (3): 2-buteno. La posición 3-buteno equivale al 1-buteno.

1.6 Isomería

Cuando dos o más compuestos tienen fórmulas moleculares idénticas, pero diferentes fórmulas estructurales, se dice que cada uno de ellos es isómero de los demás y al fenómeno se le denomina **isomería**. Los isómeros difieren entre sí en sus propiedades físicas y químicas, por lo que la caracterización de estas propiedades ayuda a determinar qué tipo de molécula se tiene en dado caso. Otras técnicas, como la difracción de rayos X, se emplean para determinar con exactitud la distribución espacial de los átomos en una molécula, así como las distancias y ángulos de enlace (figura 10).

Existen diferentes tipos de isomería. Veamos.

- **Isomería de esqueleto o cadena:** se presenta como resultado de las diferentes secuencias posibles para los átomos de carbono en una cadena hidrocarbonada. Se denomina también **isomería de cadena**.

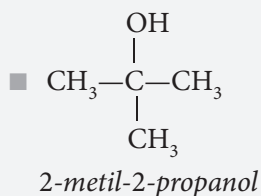
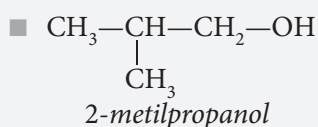
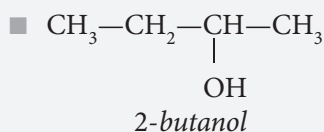
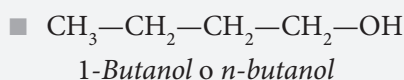


- **Isomería de posición:** resulta de colocar grupos funcionales en posiciones estructuralmente no equivalentes sobre un mismo esqueleto carbonado (figura 11).
- **Isomería de grupo funcional:** se presenta cuando dos compuestos poseen diferentes grupos funcionales para una misma fórmula molecular. La figura 12 muestra este tipo de isomería para la fórmula $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$, de la cual resultan dos compuestos totalmente diferentes: el alcohol etílico y el éter metílico.

* EJEMPLOS

Escribir los isómeros del butanol $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$.

Veamos qué estructuras diferentes se pueden escribir partiendo de la fórmula anterior:



Observa que si se cambia la posición del grupo (OH) se obtienen el 1-butanol y el 2-butanol. Por otro lado si se cambia la forma de la cadena carbonada se obtiene el 2-metilpropanol y el 2-metil, 2-propanol. De lo anterior se deduce que la fórmula $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ puede dar origen a cuatro isómeros, dos por cambio de la posición del grupo funcional OH y dos por cambio en la forma de la estructura carbonada.

Finalmente, esta fórmula da lugar también a un isómero de grupo funcional:

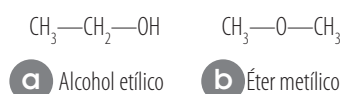
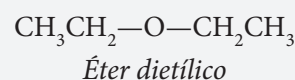


Figura 12. Isomería de grupo funcional, para la fórmula molecular $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.



Interpreta

1 Completa la información de la siguiente tabla:

Grupo funcional	Nombre
—C—C—	
—C=C—	
$\text{—C}\equiv\text{C—}$	
—C=O	
$\begin{array}{c} \text{—C=O} \\ \\ \text{H} \end{array}$	
—C—OH	
$\text{—C}\equiv\text{N}$	
—CO—NH_2	
—O—	

2 Las funciones oxigenadas se caracterizan por estar formadas por carbono, hidrógeno y oxígeno. En este grupo de compuestos se encuentran los alcoholes, fenoles, éteres, aldehídos y cetonas. Clasifica los siguientes compuestos de acuerdo con los grupos mencionados:

- Butanol
- Dimetiléter
- 2-heptanona
- Octanaldehído
- Alcohol metílico
- Paraclorofenol
- Heptanal
- Hidroxibenceno
- 3-decanona
- Etilpropiléter



Argumenta

3 Los isómeros son compuestos que presentan igual fórmula molecular y diferente fórmula estructural. ¿Cuáles de los siguientes compuestos son isómeros entre sí? Justifica tu respuesta.

- 4-bromo-3-metilnonano
- 2-Hexanol
- 3-Hexanona

- 2-metil octano
- Metilpentiléter
- Hexanaldehído
- Isononano
- 3-bromododecano

4 Los compuestos orgánicos pueden ser cíclicos o alifáticos. ¿Cuáles de las siguientes estructuras son cíclicas? Justifica tu respuesta.

- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
Pentano

- 
Ciclopentano

- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
Hexano

- 
Ciclohexano

- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
Butano

- 
Ciclobutano

- 
Ciclopropano

- $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—CH}_3$
Propano



Propone

5 La propanona es un compuesto orgánico, comúnmente conocido como acetona, que se usa como solvente y como producto intermedio en la producción de algunas sustancias químicas. Es fácilmente inflamable, irrita los ojos y su manipulación continua puede ocasionar reseca en la piel.

- Escribe la fórmula estructural de la propanona. ¿A qué grupo funcional pertenece?
- Deduce los isómeros que puede formar este compuesto.
- Responde: ¿Qué cuidados se deben tener para la manipulación de esta sustancia?
- Explica qué significa “fácilmente inflamable”.
- Consulta y explica en qué producto de belleza está presente este compuesto.



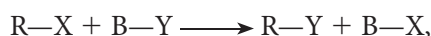
Figura 13. Muchos procesos industriales se basan en la manipulación de cadenas de reacciones orgánicas.

2. Reacciones orgánicas

Las reacciones orgánicas presentan dos características especiales que las diferencian de las inorgánicas: se desarrollan a muy baja velocidad y, en la mayoría de los casos, solamente el grupo funcional interviene en la reacción, por lo que el resto de la molécula orgánica permanece intacta. A continuación vamos a conocer los tipos de reacciones orgánicas y su mecanismo de reacción.

2.1 Mecanismos de ruptura de enlaces

Durante una reacción (figura 13), ocurre ruptura de los enlaces que existen en las sustancias iniciales (reaccionantes) y formación de otros nuevos en los productos. Así, en una reacción cualquiera como esta:



los enlaces que mantenían unidos los reactivos (RX y BY) se rompen para dar lugar a los productos (RY y BX). Existen dos procesos principales a través de los cuales ocurre la ruptura de enlaces. En cada uno de ellos, la distribución de los electrones involucrados en dichos enlaces, es diferente, ocasionando que las especies formadas tengan diferentes cargas netas.

Consideremos una molécula hipotética CH_3-X , para ilustrar estos mecanismos.

2.1.1 Ruptura homolítica

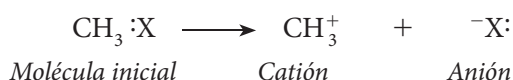
En este caso, cada especie conserva el electrón que inicialmente aportó para formar el enlace. Así, uno de los dos electrones que componen el enlace entre C y X es tomado por X, mientras el otro es conservado por la especie C. El resultado es la formación de dos **radicales**: $C\cdot$ y $X\cdot$, cada uno de los cuales cuenta con un electrón desapareado, aunque su carga neta es neutra. Veamos un ejemplo específico:



2.1.2 Ruptura heterolítica

Se presenta cuando los electrones de enlace son conservados por una de las dos especies químicas presentes. El resultado es que, aquella que retuvo los electrones, tendrá una carga neta negativa, mientras que la otra, al carecer de éstos, tendrá una carga neta positiva.

Para el caso de nuestro ejemplo, puede suceder que la especie orgánica ceda los dos electrones de enlace, quedando como un ion positivo o **catión**, mientras que el sustituyente, X, da lugar a un ion negativo o **anión**:



La especie orgánica resultante, CH_3^+ , posee sólo seis electrones apareados y en consecuencia adquiere una carga positiva sobre el átomo de carbono, que se denomina **ion carbonio** o **carbocatión**.

EJERCICIO

Indica cuáles de las siguientes especies químicas son radicales:

- $(CH_3)_2C$
- $(CH_3)_3C$
- $(CH_3)_3C^+$
- CH_3CH_2

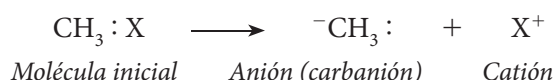


Los carbocationes son iones cargados positivamente que contienen un átomo de carbono que cuenta con seis electrones en tres enlaces:



Los iones carbonio se representan generalmente como R^+ .

En segundo lugar, es posible que los dos electrones de enlace abandonen el grupo sustituyente (X) y sean retenidos por un grupo orgánico (CH_3), dando como resultado una especie orgánica con ocho electrones, por lo que el átomo de carbono adquiere una carga negativa y se denomina **carbanión** o R^- :



Los carbaniones son iones cargados negativamente que contienen un átomo de carbono con tres enlaces y un par de electrones no compartido:



Las especies resultantes de una ruptura heterolítica son altamente reactivas, reaccionando rápidamente con otras moléculas. En general, tales especies constituyen sustancias intermedias en las reacciones y se caracterizan por ser de vida muy corta, por lo que no es fácil detectarlas o aislarlas por métodos físico-químicos ordinarios (figura 14).



Figura 14. En algunos casos los cambios de coloración son una evidencia física de un proceso químico.

2.2 Sitios reactivos

En las reacciones orgánicas usualmente intervienen ciertas regiones o **sitios reactivos** dentro de las moléculas y no éstas en su totalidad. Podemos identificar dos tipos de zonas reactivas, dependiendo de la facilidad con que atraigan electrones, es decir, dependiendo de su carga neta.

2.2.1 Sitios nucleófilos

Son regiones de la molécula que tienen una alta densidad electrónica, dado que tienen un par de electrones no compartidos o corresponden al extremo negativo de un enlace polar o tienen electrones π (π). Las especies químicas que poseen tales sitios se denominan **nucleófilas** o **donantes de electrones**.

Ejemplos de este grupo son los siguientes:



2.2.2 Sitios electrófilos

Son zonas de la molécula capaces de adquirir más electrones, bien porque son sitios de baja densidad electrónica o porque corresponden al extremo positivo de un enlace polar. Las especies químicas que poseen estos sitios se denominan **electrófilas** o **receptoras de electrones**. Ejemplos de este grupo son los siguientes:



EJERCICIO

Averigua cuál es la diferencia entre cargas formales y cargas parciales.

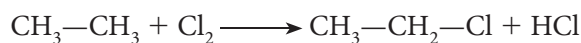


Figura 15. Un buen número de sustancias orgánicas como los compuestos halogenados son preparados mediante reacción de sustitución y son empleados como solventes orgánicos.

2.3 Tipos de reacciones orgánicas

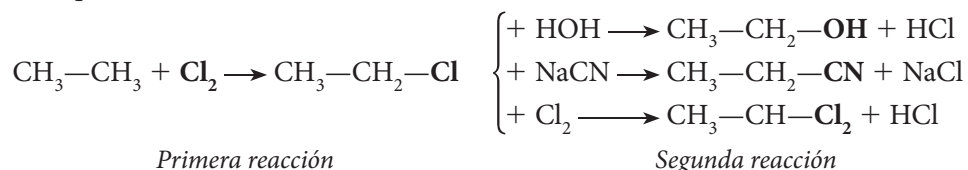
2.3.1 Reacciones de sustitución

Se presentan cuando un átomo, o un conjunto de átomos, es liberado desde uno de los compuestos que está reaccionando, denominado **substrato**, y en su lugar, se sitúa, por sustitución, un átomo o grupo de átomos provenientes del otro compuesto, denominado **reactivo**. Por ejemplo:



El **substrato** es un reactivo que contiene átomos de carbono, en el cual se rompen enlaces químicos (en este caso, una unión C—H, para formar un enlace C—Cl). El **reactivo** es la molécula de cloro, que es la especie química que “ataca al substrato”.

El anterior es un ejemplo de **halogenación de alcanos**, reacción de gran importancia técnica por las aplicaciones que se derivan de ella (figura 15). Por una parte permite la preparación de derivados halogenados, y por otra, constituye un buen procedimiento para incorporar un grupo funcional a un alcano, mediante un derivado halogenado de alquilo:



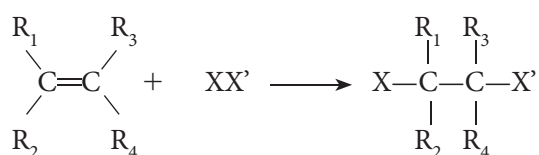
Primera reacción

Segunda reacción

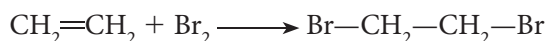
Como se puede observar en las reacciones anteriores, es posible transformar los derivados halogenados de alquilo en compuestos que posean otros grupos funcionales, como alcoholes, aldehídos, nitrilos, cetona o ácidos.

2.3.2 Reacciones de adición

En este tipo de reacciones se lleva a cabo un proceso de combinación de dos moléculas para dar lugar a una sola (figura 16). La adición ocurre frecuentemente en un doble o triple enlace y en algunas ocasiones en anillos pequeños. Por esta razón, los alquenos experimentan fácilmente reacciones de adición:



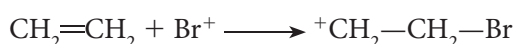
Los dos enlaces carbono-carbono de la unión etilénica tienen diferentes características. Mientras que uno de estos enlaces es susceptible de ruptura por el reactivo XX', el otro es bastante fuerte para no disociarse en las condiciones de estas reacciones. Veamos la halogenación del etileno:



Durante la reacción ocurre ruptura heterolítica del bromo molecular:



En seguida, el ion brominio, Br^+ , reacciona con el carbono del doble enlace que posee mayor densidad electrónica:



Finalmente, el carbono deficiente en electrones del halogenuro de alquilo reacciona con el ion Br^- mediante un ataque nucleofílico:

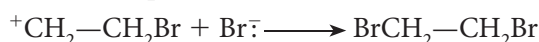


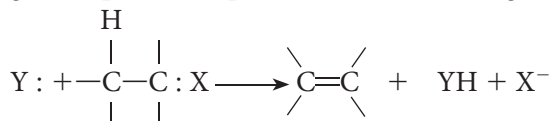
Figura 16. La formación de un polímero es un ejemplo de reacción de adición.



2.3.3 Reacciones de eliminación

Se trata de reacciones inversas a las de adición, en las cuales hay remoción de átomos o grupos de átomos de una molécula. Si los átomos eliminados se encuentran en carbonos adyacentes, se forma un enlace múltiple, mientras que, si se hallan en carbono no adyacentes, el resultado es la formación de un anillo.

La ecuación general para este tipo de reacciones es la siguiente:



Donde, Y: es una especie nucleófila, como los hidróxidos y alcoholatos alcalinos (OH^- , CH_3O^- o $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}^-$); mientras que X puede ser cualquiera de los siguientes grupos funcionales: Cl, Br, CO_2R , SR_2 , NR_3 , $+\text{OH}_2$.

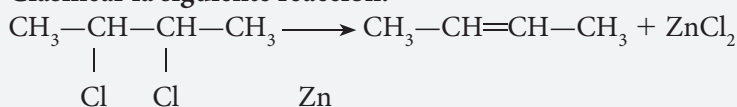
EJERCICIO

Clasifica las siguientes reacciones según corresponda:

- $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$
- $\text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{CHOH}}} \xrightarrow{\text{Pt}} \text{CH}_3-\underset{\text{CH}_3}{\underset{|}{\text{C}}}=\text{O} + \text{H}_2$

* EJEMPLOS

Clasificar la siguiente reacción:



Observando cuidadosamente las especies reaccionantes y los productos vemos que, mientras del lado de los reactivos se presentan solamente enlaces sencillos, del lado de los productos hay un enlace doble. Además; observamos la formación de un producto secundario que no existía antes el ZnCl_2 . Esto indica que se ha producido reacción de eliminación.

2.3.4 Reacciones de transposición o reordenamiento

En este tipo de reacciones ocurre una reorganización de los enlaces en el compuesto orgánico, dando lugar a un compuesto diferente. Estas reacciones son frecuentes entre isómeros. Algunos factores como el calor y la presencia de catalizadores, facilitan este tipo de reacciones. Los siguientes son algunos ejemplos:



2.3.5 Reacciones de oxidación-reducción

Mientras que la asignación de los estados de oxidación en compuestos inorgánicos es útil para seguir las modificaciones producidas y ajustar dichas ecuaciones, carece de valor adjudicar estados de oxidación a los átomos de carbono de una molécula orgánica, puesto que parte de las valencias del átomo de carbono se utilizan en la formación de enlaces consigo mismo.

Es mucho más útil en química orgánica pensar que un proceso de oxidación corresponde generalmente a un aumento en el contenido de oxígeno o a una disminución en el contenido de hidrógeno, como se puede apreciar en los ejemplos de la figura 17. Estas reacciones se producen en presencia de agentes oxidantes o reductores, como el KMnO_4 o el LiAlH_4 y otros como se verá más adelante.

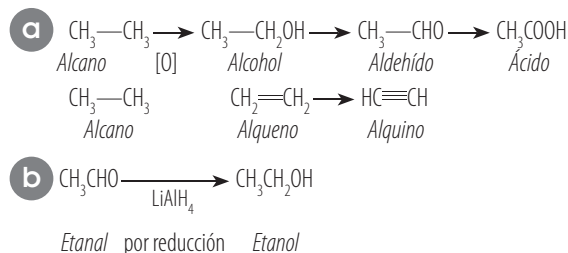


Figura 17. Reacciones secuenciales de óxido-reducción: a) oxidaciones y b) reducciones.

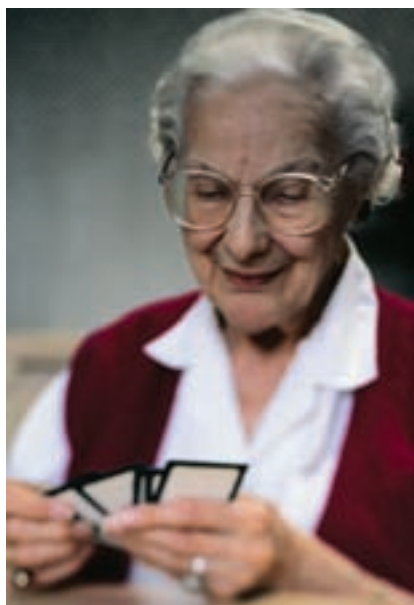


Figura 18. El exceso de radicales libres en el organismo se relaciona con el envejecimiento, la obesidad y el cáncer.

2.4 Mecanismos de reacción

Al proceso mediante el cual ocurre una reacción, desde que se inicia hasta la formación de los productos, se le denomina mecanismo de reacción.

Un **mecanismo de reacción** describe la secuencia de pasos que ocurren durante una reacción, indicando las especies intermedias, la manera como éstas se forman y cómo, luego, dan lugar a los productos finales. Discernir estos pasos no es tarea fácil, pero gracias a técnicas como la **espectroscopia**, se ha logrado determinar que, sin importar la amplia diversidad de reacciones orgánicas, la mayoría se llevan a cabo siguiendo unos pocos mecanismos básicos de reacción.

Una reacción química cualquiera puede analizarse o descomponerse en los siguientes pasos o etapas:

- **Iniciación:** es una etapa lenta, si se compara con la velocidad con la que ocurren las demás, en la cual ocurre ruptura de enlaces, ya sea homo o heterolítica. El resultado es la producción de especies químicas intermedias altamente reactivas que dan lugar a la siguiente fase.
- **Propagación:** las especies intermedias reaccionan entre sí, muy rápidamente, generando procesos en cadena, en los cuales, el resultado de un choque genera otros y así sucesivamente.
- **Terminación:** algunas de las especies químicas producidas durante la fase de propagación son eléctricamente estables, con lo cual, el ritmo de la reacción desciende paulatinamente.

2.4.1 Mecanismo de reacción por radicales libres

Las reacciones por radicales libres no son tan comunes como las de tipo polar, pero de todas maneras son muy importantes para la química orgánica, especialmente en procesos industriales y últimamente se les está dando mayor importancia a nivel bioquímico, pues tal parece que están involucradas con problemas como el cáncer o el envejecimiento (figura 18).

Este mecanismo de reacción se presenta usualmente a altas temperaturas y en medios gaseosos o en soluciones apolares. Así mismo se ve favorecido por la presencia de catalizadores, como los peróxidos o la luz, en cuyo caso se habla de reacciones fotoquímicas. Por el contrario, se inhibe cuando están presentes sustancias conocidas como “atrapadores” de radicales libres, por ejemplo, la hidroquinona.

Como se mencionó en páginas anteriores, la ruptura homolítica de enlaces conduce a la formación de radicales libres, los cuales, aún cuando son eléctricamente neutros, son especies muy reactivas, debido a que contienen un número impar de electrones en su capa más externa. En esta propiedad radica la importancia que tienen como agentes químicos en los mecanismos de reacción.

Veamos con más detalle este mecanismo de reacción analizando la reacción entre metano y cloro, con producción de clorometano y ácido clorhídrico.

En la **etapa de iniciación** se producen radicales de cloro a partir de la ruptura homolítica del enlace Cl—Cl, que es relativamente débil.



Cloro molecular



Radical de cloro

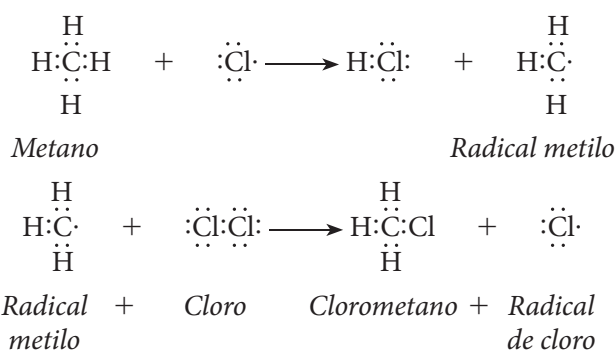
Esta ruptura es catalizada mediante radiación ultravioleta.

EJERCICIO

Imagina un mecanismo de reacción para la dihalogenación del metano (CH_4). Escríbelo.



Luego que se han formado los radicales de cloro, se lleva a cabo la **etapa de propagación**, en la cual ocurre sustitución de átomos. Cuando un radical de cloro de alta energía choca con una molécula de metano, CH_4 , sustrae un átomo de hidrógeno para producir HCl y un radical metilo $\text{CH}_3\cdot$. Este radical reacciona posteriormente con otra molécula de cloro, para formar clorometano y un radical de cloro, como nuevos productos. El radical de cloro obtenido anteriormente inicia nuevamente el ciclo del primer paso de la propagación, de modo que el proceso semeja una reacción en cadena:



La formación de compuestos estables como cloro molecular, clorometano, ácido clorhídrico o hidrocarburos insaturados (como el eteno, $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$), lleva a la terminación de la reacción.

2.4.2 Mecanismo de reacción de tipo polar o iónico

A diferencia del anterior, este mecanismo se presenta en soluciones polares y suele ser catalizado por la presencia de ácidos o bases.

Las reacciones iónicas son el resultado de las fuerzas de atracción entre cargas positivas y negativas de las moléculas. La mayoría de las moléculas orgánicas son eléctricamente neutras. Sin embargo, recordemos que dentro de las moléculas pueden existir sitios donde los electrones están más o menos concentrados, los cuales se comportan como sectores nucleófilos o electrófilos, respectivamente. Estos sitios confieren **polaridad** a las moléculas y son el resultado de una distribución asimétrica de la densidad electrónica, la cual se presenta especialmente alrededor de los grupos funcionales. La polaridad de una molécula está determinada por la electronegatividad relativa entre los átomos presentes en ella (figura 19).

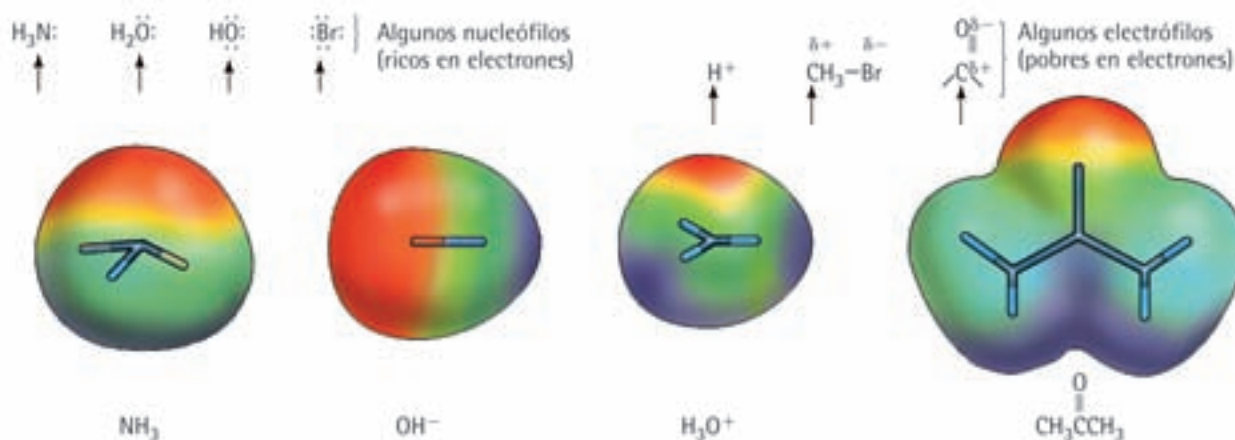


Figura 19. Ejemplos de algunos nucleófilos y electrófilos en donde se muestra la distribución de las nubes de electrones que determinan la polaridad de las moléculas.

EJERCICIO

Elabora un concepto con tus propias palabras sobre lo que es un mecanismo de reacción.



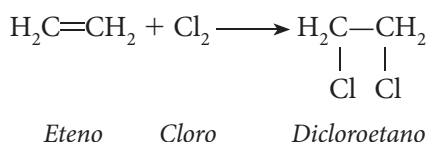
Función química	Grupo funcional	Función química	Grupo funcional
Alquenos	$\begin{array}{c} \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \end{array}$	Aldehído y cetonas	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O} \\ \diagdown \end{array}$
Alcoholes	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}-\text{OH} \\ \diagdown \end{array}$	Ácidos carboxílicos	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}^{\delta-} \\ \diagdown \quad \text{OH}^{\delta-} \end{array}$
Éteres	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \quad \delta+ \\ \diagup \quad \text{O} \quad \diagdown \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$	Halogenuros de ácidos carboxílicos	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}^{\delta-} \\ \diagdown \quad \text{Cl}^{\delta-} \end{array}$
Halogenuros de alquilo	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}-\text{X} \\ \diagdown \end{array}$	Aminas	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}-\text{NH}_2 \\ \diagdown \end{array}$
Nitrilos	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array}$	Ésteres	$\begin{array}{c} \delta+ \quad \delta- \\ \diagup \\ \text{C}=\text{O}^{\delta-} \\ \diagdown \quad \text{O}^{\delta-} \end{array}$

Figura 20. Distribución probable de las cargas eléctricas en algunos grupos funcionales.

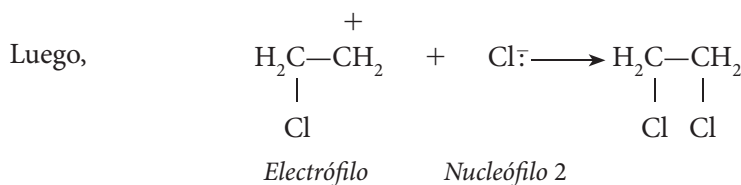
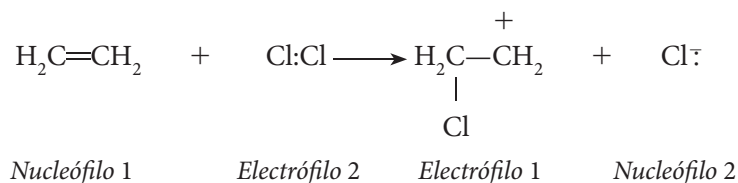
2.4.3 Polaridad de los compuestos orgánicos

Elementos como los halógenos y el oxígeno son más electronegativos que el carbono, por lo tanto un átomo de carbono enlazado con uno de estos átomos electronegativos tiene una carga parcial positiva (δ^+) y el átomo electronegativo tiene una carga eléctrica parcial negativa (δ^-). Por el contrario, en el caso de los metales, que son menos electronegativos que el carbono, el carbono presentará una carga parcial negativa.

Cabe preguntarnos entonces, ¿cómo influye la polaridad de los grupos funcionales en la reactividad química? Una propiedad fundamental de todas las reacciones orgánicas polares es que los sitios ricos en electrones de los grupos funcionales de una molécula reaccionan con sitios deficientes en electrones de los grupos funcionales de otra molécula. Entonces, los nuevos enlaces se forman cuando los reactivos ricos en electrones donan un par a la especie química deficiente en ellos. De la misma forma, los enlaces se rompen cuando una de las especies producidas se separa llevando consigo un par de electrones. Veamos la halogenación del eteno con cloro:



Recordemos que los dobles enlaces son sitios ricos en electrones por lo tanto lo más probable es que la reacción se inicie por este sitio:



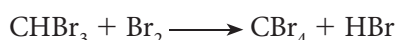
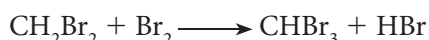


Interpreta

- 1 Las reacciones orgánicas comparadas con las reacciones inorgánicas, se llevan a cabo a muy baja velocidad y, en la mayoría de los casos, únicamente el grupo funcional interviene en la reacción. Explica:

- ¿Por qué sucede esto?
- ¿En qué se diferencian las reacciones orgánicas de las reacciones inorgánicas?
- ¿Cómo se podría aumentar la velocidad de reacción?

- 2 Los mecanismos de reacción se refieren a los pasos que se llevan a cabo para la formación de productos. El primero de ellos es la iniciación, en la que ocurren rupturas de enlaces que forman especies intermedias muy reactivas. El segundo paso es la propagación, en la que las especies intermedias chocan entre sí. El tercero es la terminación, en la que se forman especies químicamente estables. Identifica estos pasos en la siguiente secuencia de reacciones:



Argumenta

- 3 Elementos como los halógenos y el oxígeno son más electronegativos que el carbono, por lo tanto, un átomo de carbono enlazado con uno de estos átomos electronegativos tiene una carga parcial positiva, y el átomo electronegativo una carga parcial negativa. Explica:

- ¿Cómo influye la polaridad de los grupos funcionales en su reactividad química?
- ¿Qué relación existe entre la carga parcial de un átomo y su electronegatividad?

- 4 Las reacciones por radicales libres no son tan comunes como las de tipo polar, pero son muy importantes para la química orgánica, especialmente en procesos industriales.

Últimamente se les está dando mucha importancia a nivel bioquímico, ya que parece que están involucradas con el cáncer o el envejecimiento.

CH_3 Radical metil

CH_2CH_3 Radical etil

$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ Radical propil

$\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ Radical butil

Responde:

- ¿Cómo se forman los radicales libres?
 - ¿Se podrá detener o controlar el envejecimiento mediante la aplicación de sustancias que contengan radicales libres?
 - ¿Los medicamentos que se utilizan para controlar enfermedades como el cáncer tienen radicales libres?
- 5 El ácido acético, en forma de vinagre (disolución de este ácido en agua) más los aromas procedentes del vino y los formados en la acidificación, se utiliza como conservante desde hace aproximadamente 5.000 años. Una gran parte del utilizado actualmente se obtiene por síntesis química. Como conservante es poco eficaz y se utiliza para controlar el crecimiento de algunos mohos. Explica:
- ¿A qué se debe la acción conservante del ácido acético?
 - ¿Cómo se obtiene este ácido?
 - ¿Qué otros conservantes se usan en la actualidad en la elaboración de alimentos?



Propone

- 6 En la vida diaria y en nuestro organismo se llevan a cabo cientos de reacciones. ¿Cuáles de ellas se pueden clasificar como orgánicas? Explica tu respuesta.



Actividades



Verifica conceptos

1 **Determina la falsedad o la certeza de los siguientes enunciados escribiendo una F o una C, respectivamente.**

- ☐ Los alcoholes y los aldehídos son ejemplos de las funciones oxigenadas.
- ☐ El grupo funcional de los nitrilos es $R-C\equiv N$, por ejemplo, el propanonitrilo.
- ☐ Los alquinos se caracterizan por sus enlaces dobles.
- ☐ El ácido hexanoico tiene como fórmula $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2COOH$.
- ☐ El grupo funcional de los ésteres es $R-O-R$.
- ☐ Los alcanos se caracterizan por estar constituidos por carbono e hidrógeno, como el octano, C_8H_{18} .
- ☐ Los compuestos orgánicos como el metano, etano, propano, butano y pentano son una serie homóloga.
- ☐ Un ejemplo de amida puede ser $CH_3CH_2NH_2$.
- ☐ El heptanoato de etilo pertenece al grupo de los ácidos carboxílicos.
- ☐ Los aldehídos y las cetonas presentan el grupo carbonilo, $C=O$.

2 **Establece diferencias o similitudes entre los siguientes grupos funcionales.**

- a) Ácidos orgánicos y ésteres
- b) Aminas y amidas
- c) Alcoholes y fenoles
- d) Aldehídos y cetonas
- e) Alcanos y alquenos
- f) Alquinos y aromáticos

3 **Completa la información de la siguiente tabla:**

Clase de isomería	Ejemplos	Característica principal
De cadena o de esqueleto		
De grupo funcional		
De posición		
Geométrica		
Óptica		



Analiza y resuelve

4 **¿En cuáles de los siguientes compuestos está presente el grupo carbonilo? Justifica tu respuesta.**

- a) $CH_3COCH_2CH_2CH_3$
- b) $CH_3-CH_2-COO-CH_3$
- c) $CH_3-CH_2-CO-CH_2-CH_2-CH_3$
- d) $CH_3-\underset{\substack{| \\ OH}}{CH}-CH_3$
- e) $CH_3-CH_2-CH_2-CHO$

5 **¿Cuáles de los siguientes compuestos presentan estructuras cíclicas? Justifica tu respuesta.**

- a) CH_4
- b) $CH_3-CH_2-CH_3$
- c)
- d)
- e)

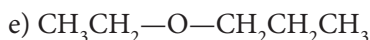
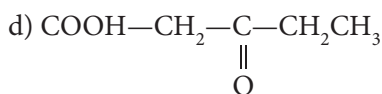
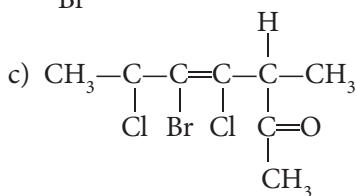
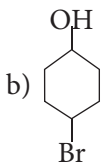
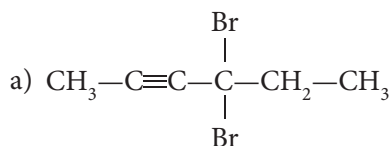
6 **¿Cuáles de las siguientes estructuras presentan el grupo carboxilo? Justifica tu respuesta.**

- a) $CH_3-CH_2-\underset{\substack{|| \\ O}}{C}-CH_3$
- b) $CH_3-CH_2-\underset{\substack{|| \\ O}}{C}-OH$
- c) $CH_2-CH_2-\underset{\substack{| \\ OH}}{CH_2}$
- d) $CH_3-\underset{\substack{|| \\ O}}{C}-O-CH_3$
- e) CH_3-O-CH_3
- f) $CH_3-CH_2CH_2COOCH_3$
- g) $CH_3CH_2CH_2CHO$



Problemas básicos

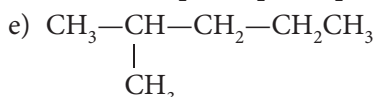
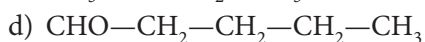
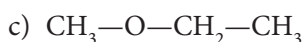
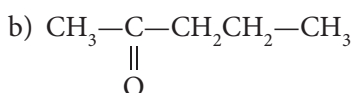
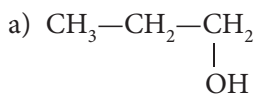
- 7 Determina el nombre de las siguientes estructuras:



- 8 Escribe las estructuras de los siguientes compuestos orgánicos.

- Ácido-3-metil-2,2-dicloro heptanoico
- 2.bromo-3-yodo-hexanaldehído
- Ciclopentano
- Paradihidroxibenceno
- Isodecano
- Butanoamina
- Butanoato de estilo
- 2,4-nonanodieno
- 3-etildodecino
- 1,2,3,4-tetrabromociclobutano

- 9 Observa atentamente las siguientes estructuras y establece cuáles de ellas son isómeros entre sí.



Problemas de profundización

- 10 Los COV, compuestos orgánicos volátiles, son las sustancias orgánicas que más afectan la calidad del aire. Son considerados contaminantes atmosféricos debido a su toxicidad y a los olores que producen. Provocan irritación de las mucosas, los ojos y la garganta, mareos, fatigas, náuseas y malestar general. Entre ellos se encuentran el benceno y el 1,3-butadieno, que son identificados como carcinógenos. Responde:

- ¿Cómo podemos ayudar a controlar la contaminación del aire?
- ¿Qué otros compuestos orgánicos volátiles contaminan la atmósfera?
- ¿Cómo se forman los compuestos orgánicos volátiles?



- 11 El DDT, diclorodifeniltricloroetano, es un pesticida utilizado desde los años cuarenta para controlar las plagas de los cultivos. Se ha comprobado que este compuesto absorbido por los animales en los alimentos, no podía ser metabolizado y se acumulaba en los tejidos grasos, causando intoxicación. Actualmente está prohibido el uso del DDT, luego de causar tantos daños. Otros contaminantes orgánicos de importancia son el metano y los clorofluorocarbonados o CFC. Estos compuestos se utilizan en aerosoles, como disolventes y en los sistemas de refrigeración, aceleran el proceso de descomposición del ozono y dificultan su regeneración. Explica:

- ¿Cuál es la estructura del DDT?
- ¿Cuál es la función de un pesticida?
- ¿Existen pesticidas que no causen contaminación?
- ¿Por qué los CFC destruyen la capa de ozono?
- ¿Cómo se puede contribuir a evitar que la capa de ozono se siga destruyendo?



Actividades



Verifica conceptos

- 1 Las reacciones orgánicas se relacionan con la clase de compuesto orgánico en las que se presentan. Determina las clases de reacciones presentes en las siguientes sustancias orgánicas con base en la información que se presenta en la tabla:

- Butano
- Butanona
- 2-metilbutanal
- Propano nitrilo
- Propanol
- Ácido 2-metilbutanoico
- 3,3-dimetilbutano

Reacción orgánica	Característica en:
Sustitución	Alcanos
Adición	Alqueno, cicloalquenos, alquinos
Eliminación	Halogenuros, alcoholes, alcanos
Oxidación	Alquenos, alquinos, alcoholes, aldehídos
Reducción	Alquenos, alquinos, nitrilos, ácidos, aldehídos, cetonas, alcoholes

- 2 La halogenación en alcanos es clasificada como una reacción de sustitución, en la cual un hidrógeno se reemplaza por un halógeno. Escribe todos los productos posibles de la monocloración del pentano y del dimetilpropano. Asigna el nombre de los compuestos orgánicos que se producen.
- 3 Un mecanismo de reacción es una descripción paso a paso de cómo sucede una reacción química. Ilustra el mecanismo de reacción para la halogenación del metano con cloro.
- 4 En toda reacción orgánica se distinguen: un reaccionante o sustrato que contiene átomos de carbono, en el cual se forman o se rompen enlaces; y un reactivo o agente que causa la reacción y permite la formación de productos. Escribe una reacción de adición, una de sustitución y señala el sustrato y el reactivo en cada caso.



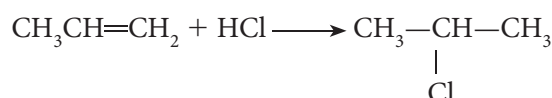
Analiza y resuelve

- 5 Relaciona la información que se presenta a continuación y establece:

- Sustancias producidas del cuadro 1.
- Compuesto necesario para reaccionar con la sustancia 2 y producir la sustancia 7.
- Reactivos requeridos para producir la sustancia del cuadro 5.
- Producto obtenido en la reacción del cuadro 9.
- Catalizador utilizado para deshidratar alcoholes.
- Reacciones que presenta la sustancia de la casilla 7.

1. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br} + \text{NaOH}$	2. $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	3. $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{HCl}$
4. H_2SO_4	5. $\text{CH}_2=\text{CH}_2 + \text{H}_2\text{O}$	6. H_2O
7. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	8. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$	9. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + \text{NaBr}$

- 6 Establece el mecanismo mediante el cual se lleva a cabo la siguiente reacción y responde las preguntas:

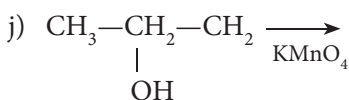
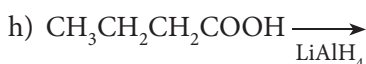
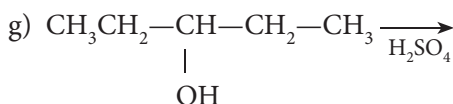
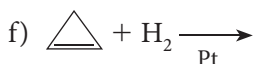
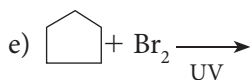
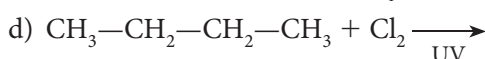
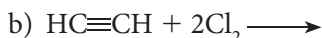
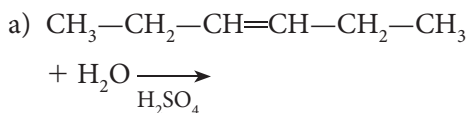


- ¿Cuál es el primer paso del mecanismo de esta reacción?
- ¿Los átomos de cloro y de hidrógeno que provienen del HCl se unen en un solo paso a la cadena carbonada? Justifica tu respuesta.
- ¿Se crean sustancias intermedias durante el mecanismo de la reacción? Explica tu respuesta.
- ¿Qué especies se forman antes de la obtención de los productos?
- ¿Se forman carbocationes en esta reacción?
- ¿Qué diferencias existen entre los radicales libres, los carbocationes y los carbaniones?

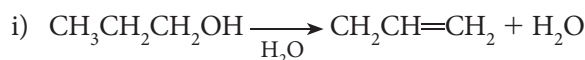
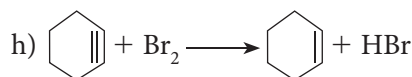
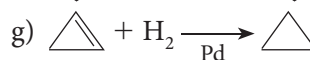
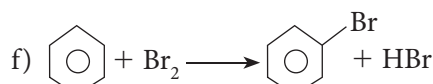
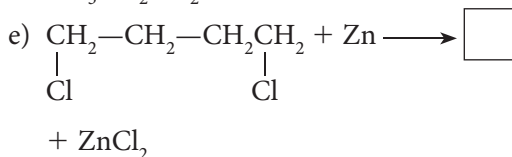
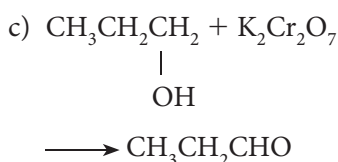
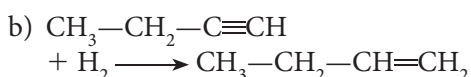
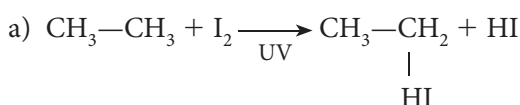


Problemas básicos

7 Completa las siguientes reacciones y establece el nombre de cada uno de los reactivos y de los productos:



8 Clasifica las siguientes reacciones según sean: de sustitución, reducción, oxidación, eliminación.



9 Establece los mecanismos de reacción para la cloración total de:

- a) Etano
- b) Ciclopropano
- c) Hexano
- d) Ciclobutano
- e) Pentano
- f) Benceno
- g) 2-octino



Problemas de profundización

10 Indica qué tipo de rupturas, homolítica o heterolítica, se presentan en las siguientes reacciones. Justifica tu respuesta.

- a) $\text{CH}_3\text{:Cl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{:} + \text{Cl}\cdot$
- b) $\text{CH}_3\text{:X} \longrightarrow \text{CH}_3^+ + \text{X}^-$
- c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{:Cl} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\cdot + \text{Cl}\cdot$
- d) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{:Br} \longrightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2^+ + \text{Br}^-$

11 La reactividad de un compuesto orgánico está determinada por los elementos que componen su estructura. Así los sitios reactivos de una molécula en los que puede ocurrir una reacción son específicamente los átomos o grupos funcionales en los cuales se genera una deficiencia o disponibilidad extra de electrones. Los sitios reactivos pueden ser nucleófilos o donantes de electrones; y electrófilos o receptores de electrones.

Con esta información, completa la siguiente tabla:

Especie	Electrófilo	Nucleófilo

La agricultura orgánica

Frente a la gran demanda de alimentos de origen animal y vegetal, generada por la explosión demográfica; los productores agrícolas se han visto obligados a generar modelos de agricultura productiva, que si bien han suplido la demanda alimentaria de la humanidad, han provocado sobreexplotación de los recursos naturales, deforestación y pérdida de ecosistemas, entre otros, que están afectando seriamente el equilibrio ecológico del planeta.

Como una respuesta a este problema global surge entre los ambientalistas y los agricultores la bien llamada agricultura orgánica.

La FAO, Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, la define como "...un sistema holístico de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agroecosistema y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo..."

En términos familiares es un sistema de cultivo que se propone evitar el uso de agroquímicos. Se fundamenta en la optimización de la capacidad del suelo, mediante prácticas agrícolas saludables, como la labranza mínima, uso de abonos orgánicos, control biológico de plagas y rotación de cultivos.

La agricultura orgánica es una forma de producción basada en el respeto al medio ambiente. Su objetivo es producir alimentos sanos, de calidad y en cantidades suficientes, apoyándose en los conocimientos científicos y técnicos vigentes.

El principal producto de la agricultura orgánica son los "alimentos orgánicos", su nombre garantiza al consumidor que en su producción no se emplearon agroquímicos.

Los aspectos en los cuales está basada la agricultura orgánica son:

- El uso de abonos orgánicos.
- Control biológico integral de plagas.
- Rotación de cultivos.
- Asociación de cultivos.



▲ Por su forma de cultivo los alimentos orgánicos no contienen residuos de agroquímicos.

- **El uso de abonos orgánicos.** En los cultivos orgánicos se emplean únicamente abonos naturales como: compost, estiércol de animales, humus de lombrices y gallinaza. Por este motivo es muy normal que en las granjas donde se producen cultivos orgánicos se cuente con crías alternas de animales como vacas, gallinas y conejos. Los abonos orgánicos son mucho más económicos que los abonos sintéticos y afectan en menor proporción la calidad del suelo.
- **Control biológico integral de plagas.** En la agricultura orgánica son fundamentales las estrategias de control o manejo integral de plagas. Como en esta clase de cultivos no se emplean insecticidas u otros pesticidas, los cultivos orgánicos son más susceptibles a los ataques de insectos y otras plagas.

El cultivo ecológico orgánico se basa en métodos preventivos que incrementan la resistencia natural de las plantas, esto se logra cambiando el modelo tradicional de monocultivo a un cultivo diversificado que incluya plantas que poseen repelentes naturales contra los insectos, por ejemplo, la inclusión de plantas de cebolla en medio de un cultivo de zanahorias ahuyenta a un tipo de mosca que ataca las zanahorias, generalmente, la inclusión de plantas medicinales o aromáticas como la hierbabuena, albahaca, tomillo y anís, entre otros, ahuyentan la mayoría de insectos indeseables para los cultivos.



- **Rotación de cultivos.** Consiste en alternar plantas de distintas familias y con necesidades nutritivas diferentes, en un mismo lugar durante distintos ciclos, este sistema evita que el suelo se agote y que las enfermedades que afectan a un tipo de planta se prolonguen durante un determinado tiempo. De esta forma se aprovecha mejor el abonado ya que al utilizar plantas con necesidades nutritivas distintas y con sistemas radicales diferentes, se controlan mejor las malas hierbas y disminuyen los problemas con las plagas y las enfermedades.
- **Asociación de cultivos.** Una de las estrategias más difundidas en la agricultura orgánica es “la asociación de cultivos” que consiste en cultivar en el mismo terreno especies distintas de plantas, obteniendo de esta forma una sinergia entre ellas. La asociación de cultivos permite, por ejemplo, que dos especies se colaboren a través de sus diferencias en sus tipos de enraizamiento, como es el caso del melón y la lechuga. Las raíces del melón crecen hacia la parte profunda del suelo y las raíces de la lechuga son superficiales, al estar asociadas estas dos plantas se evita la erosión del suelo porque cada una de ellas retiene una porción de suelo diferente.



▲ La asociación y rotación de cultivos evita la erosión del suelo y la prolongación de enfermedades en los cultivos.

Reflexiono sobre lo leído...

- ¿Cuál es el impacto económico de los cultivos orgánicos en los mercados globalizados?
- ¿Qué problemas enfrentan los agricultores orgánicos al comercializar sus productos?
- ¿Qué es una granja integral autosostenible?



¿Cómo sintetizar un compuesto orgánico?

En la naturaleza existen cientos de compuestos orgánicos que se caracterizan por estar formados de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno principalmente. En esta práctica aprenderás uno de los procesos para obtener un compuesto orgánico.

Conocimientos previos

Clasificación de los compuestos orgánicos.

Reactivos

- Resorcinol, $C_6H_6O_2$
- Anhídrido ftálico
- Cloruro de aluminio, $AlCl_3$
- Agua
- Hidróxido de sodio, $NaOH$

Materiales

- 1 tubo de ensayo
- 1 gradilla
- 1 mechero (Bunsen o de alcohol)
- 1 pipeta graduada de 5 mL
- 1 vaso de precipitados de 250 mL
- 1 balanza
- 1 espátula
- Pinzas para tubo de ensayo
- Probador de billetes de lámpara ultravioleta



Experimento 1

Procedimiento

1. Prepara una mezcla que contenga 1 g de resorcinol y 1 g de anhídrido ftálico.
2. Agrega a un tubo de ensayo 0,5 g de cloruro de aluminio.
3. Sujeta el tubo de ensayo con las pinzas y caliéntalo con ayuda del mechero hasta observar que el cloruro de aluminio quede como un polvo blanco, que es el anhidro tras la evaporación de todo su contenido de agua.
4. Agrega al tubo de ensayo caliente, la mezcla de resorcinol y anhídrido ftálico y continúa el calentamiento hasta observar la fusión de la mezcla.
5. Continúa calentando el tubo de ensayo hasta observar una coloración roja en la masa fundida.
6. Deja enfriar el tubo de ensayo, adiciona 1 g de hidróxido de sodio y 2 mL de agua.
7. Observa la formación de un líquido amarillo con iluminaciones fluorescentes.
8. Observa la mezcla de fluoresceína del numeral anterior a la luz UV utilizando el probador de billetes.

Análisis de resultados

1. ¿Qué clase de reacción química ocurrió?
2. ¿Cuál fue el mecanismo de la reacción química de síntesis empleada en la práctica?
3. ¿Qué aplicaciones tiene la fluoresceína?
4. ¿Qué compuestos orgánicos utilizas en la vida diaria?



¿Cómo identificar algunos grupos funcionales: alquenos, haluros de alquilo y alcoholes?

Los grupos funcionales orgánicos formados por un átomo o un conjunto de átomos le proporcionan a la materia un comportamiento químico característico que a la vez permite diferenciarlos. En esta práctica vamos a identificar algunos grupos funcionales: alquenos, haluros de alquilo y alcoholes apoyándonos en reacciones características que presentan estos grupos frente a otros agentes químicos.

Conocimientos previos

Grupos funcionales: alquenos, haluros de alquilo, alcoholes.

Reactivos

- Etanol
- 2-penteno
- Clorobutano
- Ácido nítrico
- Ácido acético
- Sodio metálico
- Nitrato de plata
- Hidróxido de sodio
- Permanganato de potasio

Materiales

- 1 gradilla
- 1 pipeta graduada de 5 mL
- 1 balanza
- 1 espátula
- 2 tubos de ensayo
- Indicador universal



Experimento 1: reconocimiento de alquenos



Procedimiento

Vierte en un tubo de ensayo 5 mL de 2-penteno y adiciona 1 mL de solución de permanganato de potasio. Si no observas ningún cambio al cabo de cinco minutos, calienta suavemente. Registra tus observaciones en la tabla de resultados.



Experimento 2: reconocimiento de los haluros de alquilo



Procedimiento

1. En un tubo de ensayo añade 2 gotas de clorobutano a 2 mL de nitrato de plata al 2% en etanol. Calienta suavemente la mezcla y observa si hay formación de precipitado. Escribe los resultados en la tabla.
2. Agrega 2 gotas de ácido nítrico diluido y observa si el precipitado se disuelve. Ten presente que los haluros de plata son insolubles en ácido nítrico diluido.



Experimento 3: reconocimiento de alcoholes



Procedimiento

Vierte 5 mL de etanol en un tubo de ensayo y añade un pedacito de sodio metálico. Observa el desprendimiento de gas. Acerca a la boca del tubo una cerilla en ignición. Registra los resultados.

Reconocimiento de alquenos	Reconocimiento de haluros de alquilo	Reconocimiento de alcoholes

Análisis de resultados

1. ¿A qué se debe el cambio de coloración del permanganato de potasio?
2. ¿Qué compuesto se forma al adicionar nitrato de plata al clorobutano?
3. ¿Qué gas se desprende al añadir el sodio al alcohol?
4. ¿Qué se comprueba con la cerilla en ignición?



¿Cómo reconocer algunos grupos funcionales: aldehídos y ácidos?

Los grupos funcionales orgánicos formados por un átomo o un conjunto de átomos le proporcionan a la materia un comportamiento químico característico que a la vez permite diferenciarlos. En esta práctica vamos a identificar algunos grupos funcionales como los aldehídos y los ácidos carboxílicos, apoyándonos en reacciones características que presentan frente a otros agentes químicos.

Conocimientos previos

Grupos funcionales: aldehídos y ácidos.

Reactivos

- Acetaldehído
- Ácido acético
- Nitrato de plata
- Hidróxido de sodio
- Bicarbonato de potasio

Materiales

- 1 gradilla
- 1 mechero
- 1 trípode
- 1 malla de asbesto
- 1 gotero
- 2 pipetas graduadas de 5 mL
- 1 balanza
- 1 espátula
- 2 tubos de ensayo
- Indicador universal



Experimento 1: reconocimiento de aldehídos - reactivo de Tollens

Procedimiento

1. El reactivo de Tollens consta de tres soluciones que se mezclan en el momento de usarse. Añade 2 gotas de solución al 5% de hidróxido de sodio a 1 mL de nitrato de plata al 5%, agita el tubo y adiciona hidróxido de sodio a 2 N gota a gota hasta que el precipitado se disuelva.
2. Agrega al reactivo 2 mL de acetaldehído y calienta por cinco minutos al baño de María. Registra los resultados.

El reactivo de Tollens se emplea para identificar los aldehídos, ya que estos compuestos forman un espejo de plata.



Experimento 2: reconocimiento de ácidos

Procedimiento

Toma en un tubo de ensayo, 5 mL de ácido acético y determina el pH con el indicador universal. Luego, añade una pequeña cantidad de bicarbonato de sodio y observa si hay efervescencia.

Análisis de resultados

1. ¿Qué sustancia se forma al adicionar el reactivo de Tollens al acetaldehído?
2. ¿Qué gas se desprende al añadir el bicarbonato de sodio al ácido acético?
3. ¿Qué puedes concluir acerca de los grupos funcionales y las reacciones observadas?
4. ¿En qué se diferencian los grupos funcionales de los aldehídos y los ácidos carboxílicos?
5. ¿Qué ácidos utilizas en la vida diaria?



¿Qué reacciones presentan los compuestos orgánicos?

Las reacciones orgánicas se caracterizan porque se desarrollan a muy baja velocidad y solamente el grupo funcional interviene en la reacción de manera que el resto de la molécula permanece intacta. Según la forma como se suceden, se clasifican como: de sustitución, adición, eliminación, oxidación, reducción y combustión, entre otras. En esta experiencia vamos a identificar algunas reacciones orgánicas.

Conocimientos previos

Clases de reacciones: de sustitución, oxidación, combustión y fermentación.

Reactivos

- Fenol
- Etanol
- Penteno
- Benceno
- Acetona
- Agua de cloro
- Agua de bromo
- Tetracloruro de carbono
- Permanganato de potasio

Materiales

- 1 pipeta graduada de 5 mL
- 1 gradilla
- 1 espátula
- 4 tubos de ensayo
- 1 frasco de vidrio con tapa
- 5 cápsulas de porcelana

Experimento 1: reacción de sustitución

Procedimiento

Vierte 3 mL de solución acuosa de fenol en un tubo de ensayo y añade 1 mL de agua de cloro. Agita y registra los resultados.

Experimento 2: reacción de adición

Procedimiento

Vierte 5 mL de penteno en un tubo de ensayo y adiciona agua de bromo, si no observas reacción calienta suavemente. Registra tus observaciones.

Experimento 3: reacción de combustión

Procedimiento

En cada cápsula por separado deposita 2 mL de etanol, benceno, fenol, tetracloruro de carbono y acetona. Luego, préndelos con un fósforo, teniendo cuidado de no acercar la mano a la llama. Observa el color de la llama y los gases desprendidos. Registra los resultados en una tabla.

Experimento 4: reacción de oxidación

Procedimiento

Deposita 5 mL de etanol y agrega 1 mL de solución de permanganato de potasio. Observa los resultados. Ten en cuenta los cambios de coloración y el olor.

Análisis de resultados

1. ¿Qué reacción ocurre entre el fenol y el agua de cloro?
2. ¿Qué productos se obtienen en la reacción entre el penteno y el agua de bromo? Escribe la ecuación química.
3. ¿A qué se debe la diferencia de llama? ¿Qué tipo de combustión se presenta en cada caso?
4. ¿Qué productos se forman en la oxidación del etanol?
5. ¿Qué reacción ocurre en el proceso de fermentación? ¿Por qué este proceso requiere de un largo tiempo para llevarse a cabo?



UNIDAD

3

Los hidrocarburos

Temas de la unidad

1. Hidrocarburos alifáticos
2. Hidrocarburos cíclicos



? Para pensar...

Los hidrocarburos son los compuestos orgánicos más sencillos, pues se componen principalmente de carbono e hidrógeno. No obstante, la gama de compuestos que se obtienen de combinar pocos elementos en diferentes arreglos estructurales es enorme. Así, tenemos hidrocarburos de cadena larga (simples o con ramificaciones), de cadena cerrada a manera de anillo, así como combinaciones de los anteriores. Igualmente, encontramos moléculas en las que una misma unidad se repite un cierto número de veces. A estos compuestos se les conoce como polímeros (*poli* = muchos y *mero* = miembros), y no son exclusivos de los hidrocarburos, como veremos más adelante en este texto.

Esto sin contar con la gran variedad de compuestos que resultan de sustituir uno o más hidrógenos de una cadena hidrocarbonada, por átomos de otros elementos como cloro, oxígeno o flúor.

De esta manera, los hidrocarburos se pueden presentar en la naturaleza en formas como el petróleo, el gas natural o las resinas vegetales. Artificialmente, algunos plásticos están compuestos por unidades de hidrocarburos.

El propósito de la presente unidad es conocer diferentes aspectos sobre la química de los hidrocarburos tales como: su estructura, sus propiedades físicas, su comportamiento químico y algunas de sus principales aplicaciones. En este contexto, dedicaremos el primer tema a los hidrocarburos de cadena lineal, conocidos como alifáticos, mientras que en el segundo tema hablaremos de los hidrocarburos cíclicos.

• Para responder...

- ¿Cuál es la principal fuente de hidrocarburos?
- ¿Cómo se preparan los hidrocarburos saturados e insaturados?
- ¿Qué aplicaciones tienen las reacciones de polimerización?
- ¿Cuál es la estructura y cuáles son las propiedades del benceno?



1. Hidrocarburos alifáticos

El término alifático proviene del griego aleiphas que significa grasa y se relaciona con una propiedad característica de estos compuestos: su insolubilidad en agua. Sin embargo, los hidrocarburos alifáticos tienen también una composición química bien definida, como veremos a continuación.

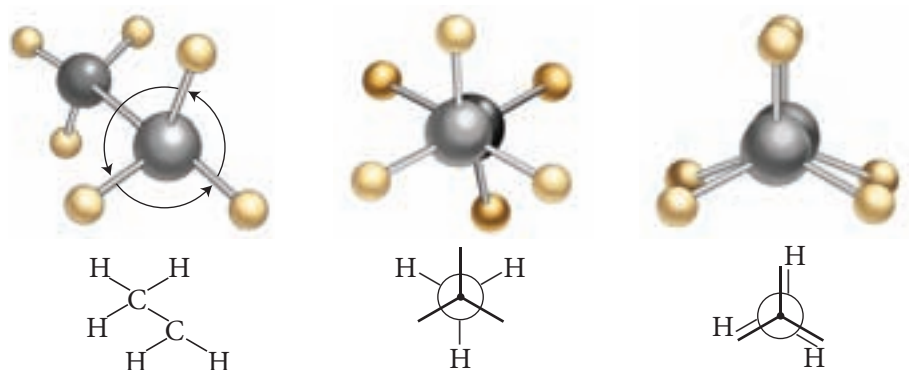
1.1 Hidrocarburos saturados: alcanos

Los alcanos son hidrocarburos de cadenas abiertas, ya sea sencillas o ramificadas, de carbono e hidrógeno, en las cuales los carbonos se encuentran unidos a través de enlaces covalentes simples. Esto implica que las cuatro posibilidades de enlace del átomo de carbono se encuentran ocupadas por átomos de hidrógeno y de carbono, por lo que se les conoce también como hidrocarburos saturados. Esto significa que los **carbonos están saturados por átomos de hidrógeno**.

La estructura de los alcanos se deriva de esta condición, pues, como vimos en páginas anteriores, los enlaces sencillos resultan de la fusión de orbitales híbridos sp^3 . Esto determina el ángulo que se forma entre los átomos que intervienen en dicho enlace. Vimos también que el alcano más sencillo, el metano (CH_4), es una molécula tetraédrica. Pues bien, los alcanos de mayor número de carbonos pueden verse como unidades tetraédricas unidas.

El enlace sencillo entre carbonos permite la rotación de los mismos sobre el eje del enlace. Esto hace que los hidrógenos unidos a estos carbonos puedan ubicarse en diferentes posiciones alrededor de los mismos, dando lugar a diferentes **conformaciones**, de las cuales se derivan los **isómeros conformacionales** que, a diferencia de las otras clases de isómeros, no poseen distribuciones diferentes de los átomos, sino posiciones diferentes a lo largo de un eje de rotación definido.

Existen principalmente dos maneras de representar este tipo de isómeros, como se muestra a continuación para el etano:



La representación de caballete, muestra el enlace C—C desde una perspectiva oblicua, mientras que las proyecciones de Newman, esquematizan la molécula como si la viéramos de frente.

Los isómeros conformacionales son muy difíciles de aislar pues se convierten unos en otros con facilidad. No obstante, la conformación en la cual los hidrógenos se ubican alternados es más estable que aquella en la cual se disponen eclipsados. Esto se debe a que, en el primer caso, los orbitales moleculares de los enlaces C—H están lo más alejados posible.

EJERCICIO

Empleando bolas de icopor y palillos, elabora un modelo que permita visualizar distintas conformaciones para la molécula de etano.



1.1.1 Propiedades físicas

En estado puro, los alcanos son incoloros, presentan una densidad menor que la del agua y debido a su naturaleza apolar, son insolubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos como el tetracloruro de carbono o el benceno.

En cuanto al estado de agregación, a temperatura ambiente, los cuatro primeros alcanos (metano, etano, propano y butano), son gases; del pentano al heptadecano son líquidos, mientras que cadenas mayores se encuentran como sólidos.

En general, a medida que aumenta el número de carbonos presentes (es decir, el peso molecular), se observa un aumento gradual en el valor de constantes físicas como los puntos de fusión y de ebullición y la densidad (figura 1). Sin embargo, la presencia de ramificaciones en la cadena se relaciona con un descenso de las mismas. Por ejemplo, el pentano hierve a 36,5 °C, el isopentano (2-metilbutano) con una ramificación, hierve a 27,85 °C, mientras que el neopentano (2,2-dimetilpropano) con dos ramificaciones, hierve a 9,5 °C.

Este comportamiento se relaciona con la acción de fuerzas intermoleculares débiles, conocidas como **fuerzas de Van der Waals**. Estas fuerzas, actúan solo a distancias muy cortas y son el resultado de la atracción entre cargas opuestas sobre la superficie de las moléculas. Estas cargas son consecuencia de la polarización inducida de las nubes electrónicas de las moléculas. Un lado de la molécula puede por casualidad, tener un ligero exceso de electrones en relación con el lado opuesto. Cuando esto ocurre, la molécula posee un **momento dipolar temporal** y puede provocar que otra molécula cercana adopte temporalmente un dipolo opuesto, lo cual da como resultado una ligera atracción entre dos moléculas (figura 2).

Los dipolos temporales tienen existencia fugaz y constantemente están cambiando, pero el efecto acumulativo de una enorme cantidad de estas interacciones determinan el estado de agregación de las moléculas de un compuesto. Cuando se aplica suficiente energía calórica para vencer estas fuerzas ocurre un cambio de estado, por ejemplo de líquido a gas.

La intensidad de las fuerzas de Van der Waals aumentan con el tamaño de las moléculas, por lo que es necesario suministrar una mayor cantidad de energía para vencerlas y pasar del estado líquido al gaseoso. Esto explica el incremento de los puntos de ebullición con relación al número de carbonos.

Los alcanos ramificados presentan una forma más esférica que los de cadena lineal; como resultado de lo cual tienen menor área superficial y por consiguiente, el efecto de las fuerzas de Van der Waals es menor.

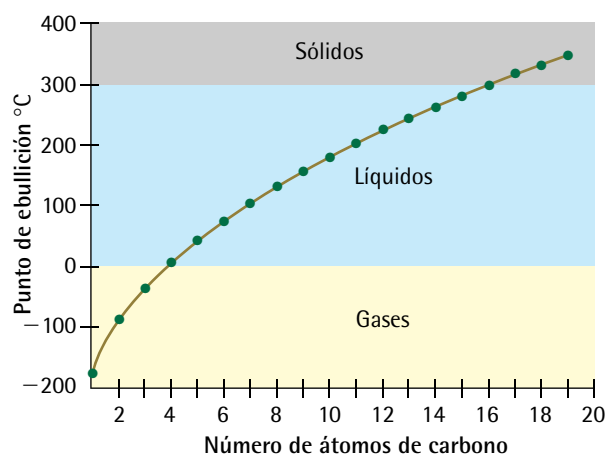


Figura 1. La gráfica muestra el aumento progresivo de los puntos de ebullición y de fusión en los alcanos con respecto a un creciente número de carbonos en la cadena hidrocarbonada.

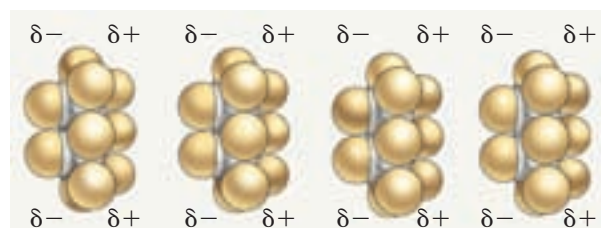


Figura 2. Las fuerzas de atracción intermolecular de Van der Waals son el resultado de la polarización espontánea de las moléculas, debido a lo cual se crean dipolos.

EJERCICIO

Responde:

1. ¿Por qué los alcanos son insolubles en agua, pero muy solubles en solventes orgánicos como el tetracloruro de carbono?
2. ¿Por qué los alcanos de 1 a 4 carbonos son gases, los de 5 a 17, son líquidos, y los mayores, son sólidos?



Figura 3. La parafina, mezcla de hidrocarburos saturados, se emplea para fabricar velas, que proporcionan luz y calor gracias a la combustión de los alcanos constituyentes.

1.1.2 Propiedades químicas

Los alcanos, también llamados **parafinas**, se caracterizan por ser poco reactivos, por lo que se dice que tienen una gran inercia química. Esto se debe a que el enlace σ entre carbonos y entre carbonos e hidrógenos es muy fuerte y difícil de romper, por lo que las reacciones suelen ser lentas y frecuentemente deben llevarse a cabo a temperaturas y presiones elevadas y en presencia de catalizadores. No obstante, los alcanos reaccionan con el oxígeno, el cloro y los compuestos nitrogenados. Veamos.

- **Combustión:** los alcanos reaccionan con el oxígeno durante el proceso conocido como combustión, en el cual se forma CO_2 y agua y se libera gran cantidad de energía en forma de calor y luz (figura 3). Si la cantidad de oxígeno es mínima se dice que la combustión no es completa. Dependiendo de qué tan escaso sea entonces el oxígeno, los productos finales serán carbono, agua y energía o monóxido de carbono, agua y energía:

— Combustión mínima:



Propano

— Combustión incompleta:



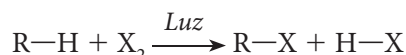
Propano

— Combustión completa:

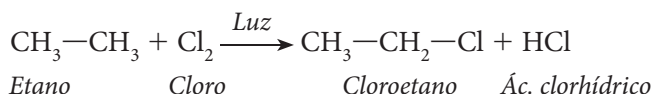


Propano

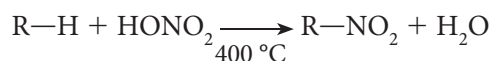
- **Halogenación fotoquímica:** cuando un alcano reacciona con un halógeno —lo cual ocurre a temperaturas entre 250°C y 400°C o en presencia de luz ultravioleta— ocurre sustitución de algunos de los hidrógenos por parte de los átomos del halógeno, según la ecuación general:



Un ejemplo concreto es el siguiente:



- **Nitración en fase gaseosa:** en condiciones apropiadas, el ácido nítrico (HNO_3) reacciona con los alcanos remplazando un hidrógeno por un grupo nitro (NO_2). Esta reacción se lleva a cabo por lo general en fase de vapor a temperaturas de 400°C y se puede representar como sigue:

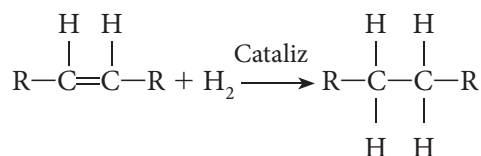


1.1.3 Métodos de obtención de alcanos

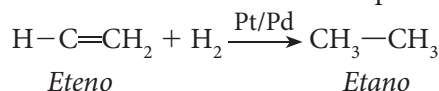
A escala industrial el medio más importante para obtener alcanos es la **destilación fraccionada del petróleo crudo**, como se detallará más adelante. A través de este proceso se extraen del petróleo numerosos subproductos y derivados. Igualmente, el gas natural es una fuente de alcanos ya que está compuesto por una mezcla de hidrocarburos ligeros, como metano, etano, propano y butano, principalmente. En el laboratorio se emplean varios métodos. Mencionaremos los más importantes a continuación.



- **Hidrogenación catalítica de hidrocarburos insaturados (alquenos y alquinos):** el proceso consiste en una reducción con hidrógeno en presencia de catalizadores como el platino, paladio y níquel:



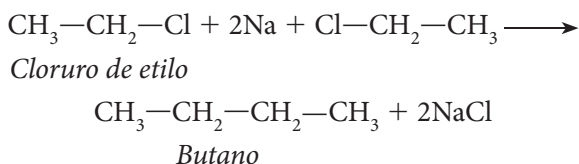
Un ejemplo sencillo es la obtención de etano a partir de eteno:



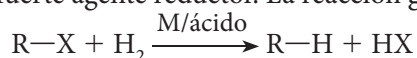
- **Reacción de Würtz:** este método se fundamenta en la condensación de dos moléculas de un halogenuro de alquilo ($\text{R}-\text{X}$) que se produce por calentamiento en presencia de un metal alcalino, preferentemente sodio:



Como ejemplo tenemos:



- **Reducción de halogenuros de alquilo:** los derivados halogenados de hidrocarburos alifáticos se pueden reducir al adicionar ciertos metales como el Zn a ácidos diluidos como el HCl, produciéndose hidrógeno que actúa como un fuerte agente reductor. La reacción general es:



El siguiente es un ejemplo:

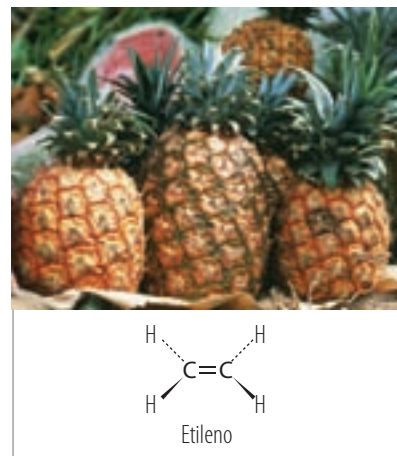
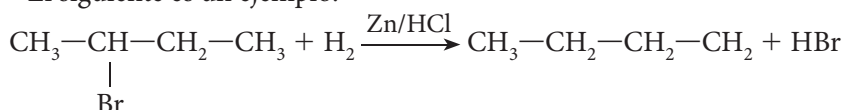


Figura 4. Los alquenos abundan en la naturaleza. Por ejemplo, el etileno ($\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$) es una hormona vegetal que induce la maduración de las frutas.

1.2 Hidrocarburos insaturados: alquenos y alquinos

A diferencia de los hidrocarburos saturados, los insaturados presentan dobles o triples enlaces, lo que significa que los átomos de carbono no tienen todas sus posibilidades de enlace “saturadas” con hidrógenos, sino que algunas están siendo ocupadas en enlaces $\text{C}=\text{C}$ o $\text{C}\equiv\text{C}$.

1.2.1 Alquenos

Se conocen también como **olefinas** y se caracterizan por la presencia de al menos un enlace doble carbono-carbono (figura 4). Este tipo de enlace se presenta entre los dos orbitales híbridos sp^2 y entre los dos orbitales p no hibridados. Esta circunstancia hace imposible la rotación sobre el plano del doble enlace, por lo que los átomos unidos a los carbonos del doble enlace se ubican arriba, abajo o sobre este plano.

El enlace π del doble enlace, es relativamente fácil de romper, es decir, se requiere invertir poca energía para lograrlo, por lo que los alquenos son bastante reactivos.

EJERCICIO

Estructuralmente, ¿cómo se diferencian los alquenos y los alquinos? ¿Por qué se dice que son más estables los alquenos que los alquinos?

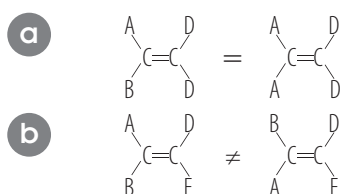


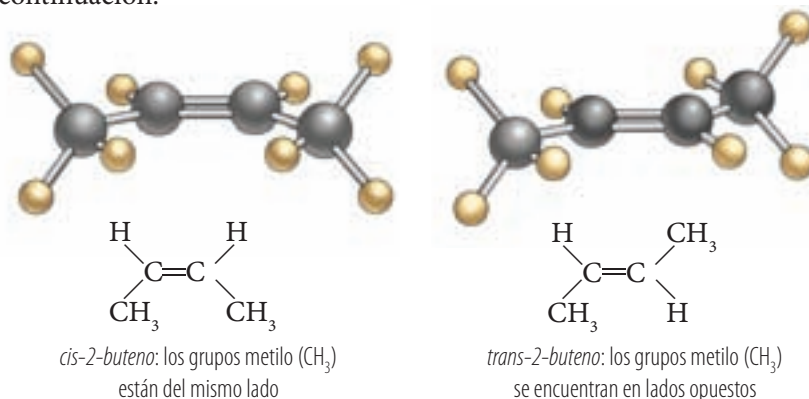
Figura 5. Fórmulas generales de: a) un compuesto que no presenta isomería geométrica, pues uno de los carbonos del doble enlace está unido a dos grupos iguales (D) y, b) un compuesto con isomería geométrica pues los carbonos del doble enlace están unidos a grupos diferentes (A, B, D, E).

EJERCICIO

¿Por qué los alquinos no presentan isomería geométrica *cis* – *trans* mientras que los alquenos sí?

1.2.2 Isomería geométrica

Como consecuencia de la rigidez del doble enlace, los alquenos presentan un tipo de isomería, que depende de las posiciones que ocupen los sustituyentes alrededor del plano del enlace. Así, un alqueno como el 2-buteno, puede presentar dos isómeros geométricos, como se ilustra a continuación:



Los isómeros geométricos son estereoisómeros porque difieren únicamente en el arreglo espacial de los grupos sustituyentes. Estas diferencias estructurales se ven reflejadas en el comportamiento físico y químico de cada isómero. Así, los isómeros *cis* y *trans* de un compuesto presentan puntos de fusión y de ebullición diferentes, así como actividad enzimática característica (figura 5).

1.2.3 Alquinos

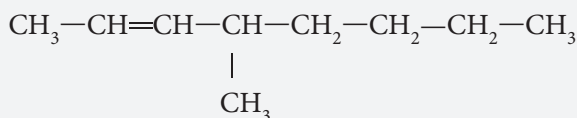
Los alquinos se caracterizan por presentar al menos un enlace triple carbono-carbono, que resulta de la superposición de orbitales híbridos sp , en un enlace s y de dos pares de orbitales p no hibridados, en dos enlaces p . Al igual que en el enlace doble, el triple no permite la rotación de los carbonos involucrados, por lo que las moléculas de alquinos son rígidas y planas en donde hay triples enlaces. El enlace $\text{—C}\equiv\text{C—}$ es más fuerte que los enlaces —C=C— y —C—C— , aunque se puede romper parcialmente por los enlaces π externos.

1.2.4 Nomenclatura

A continuación se muestran ejemplos que ilustran cómo se nombran los hidrocarburos insaturados, según las normas de la IUPAC.

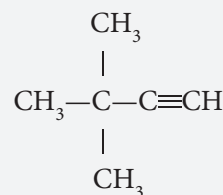
* EJEMPLOS

1. ¿Cuál es el nombre del siguiente compuesto?



En primer lugar, recordemos que la terminación o sufijo para referirse a los alquenos es *-eno*. En seguida enumeramos los carbonos, teniendo presente que la suma de las posiciones de los dobles enlaces y de los sustituyentes sea la menor posible. Teniendo en cuenta lo anterior este compuesto recibe la denominación de: 4-metil-2-octeno.

2. ¿Cuál es el nombre del siguiente compuesto?



Dado que presenta un enlace triple, se trata de un alquino (sufijo *-ino*). La molécula presenta dos sustituyentes en el carbono número 3 y un enlace triple en el carbono 1. Por lo anterior, el nombre del compuesto es: 3,3-dimetil-1-butino.



3. ¿Cómo se indica la presencia de más de un doble enlace en una molécula?

Esta condición se señala con los prefijos di, tri, tetra antes de la terminación eno. Como en el 1,3-pentadieno ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$) o el 1,3,5-hexatrieno ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$).

4. ¿Cómo se nombra un compuesto que presente enlaces dobles y triples simultáneamente?

Recordemos que siguiendo el orden de prioridad el grupo funcional principal es el que corresponde al doble enlace. Así, un compuesto de fórmula $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$ recibe el nombre de 1 eno-3-pentino (figura 6).

1.2.5 Propiedades de los hidrocarburos insaturados

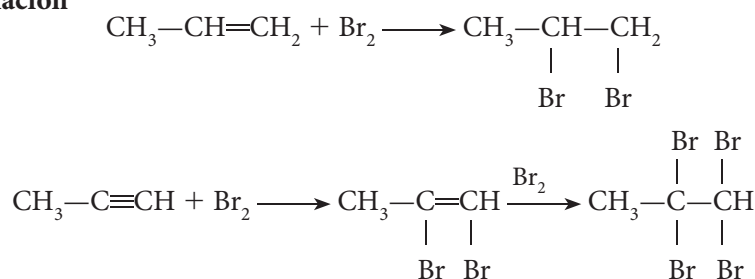
Propiedades físicas

Al igual que los alcanos, los alquenos y los alquinos muestran un progresivo aumento de los valores de constantes físicas como puntos de ebullición y fusión a medida que se adicionan carbonos a las cadenas. Igualmente, aquellos con pocos carbonos, como el eteno y el etino son gases, del C_5 al C_{18} son líquidos y los términos superiores son sólidos. Son insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos como el éter y el alcohol. A diferencia de los alcanos son solubles en ácido sulfúrico concentrado y frío.

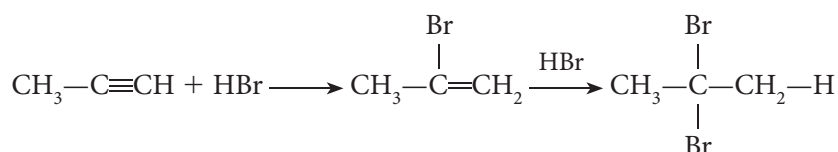
Propiedades químicas

Los enlaces múltiples presentan en la parte externa enlaces π , relativamente fáciles de romper, en comparación con los enlaces σ . La concentración de electrones en los enlaces π , alrededor de los enlaces múltiples, les confiere un comportamiento netamente nucleófilo. Por esta razón las reacciones más comunes en las que intervienen los hidrocarburos insaturados son las de **adición electrofílica**. Como su nombre lo indica, en estas reacciones ocurre adición de especies electrófilas en la zona del enlace múltiple, dando como resultado la saturación total o parcial de las posibilidades de enlace de los carbonos. Así la adición de átomos de cloro o hidrógeno a un enlace triple dará como resultado un derivado de alqueno. Del mismo modo, al adicionar alguna de estas especies electrófilas al doble enlace de un alqueno se formará el derivado del alcano correspondiente. Veamos:

Halogenación



Hidrohalogenación (adición de haloácidos)



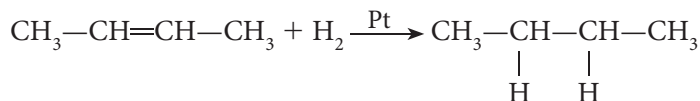
Observa que el hidrógeno del ácido se une al carbono del doble o triple enlace que tiene el mayor número de hidrógenos, lo que se conoce como **regla de Markovnikov**.

Clase de hidrocarburo	Estructura grupo funcional	Primer miembro de la serie	Fórmula general
Alcanos	$\begin{array}{c} & \\ -\text{C} & - & \text{C}- \\ & \end{array}$	CH_4 Metano	$\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$
Alquenos	$\begin{array}{c} \diagup & \diagdown \\ \text{C} & = & \text{C} \\ \diagdown & \diagup \end{array}$	$\text{CH}_2=\text{CH}_2$ Etileno	C_nH_{2n}
Alquinos	$-\text{C}\equiv\text{C}-$	$\text{HC}\equiv\text{CH}$ Acetileno	$\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$

Figura 6. El cuadro muestra la estructura y fórmula general de los hidrocarburos alifáticos.

EJERCICIO

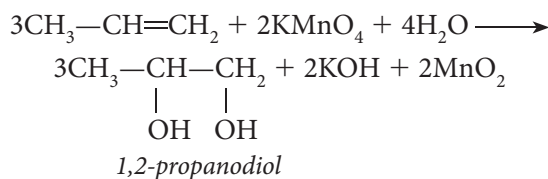
¿Cuál es más nucleófilo, un alqueno o un alquino? ¿Por qué?

— **Adición de hidrógeno (reducción)**

Esta reacción se emplea frecuentemente en la preparación de alcanos:

— **Adición de oxígeno (oxidación)**

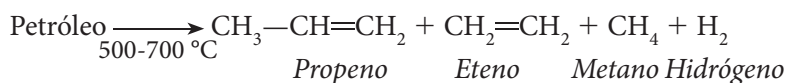
Como vimos en páginas previas, el producto de la oxidación de un hidrocarburo es un alcohol, como se muestra en el siguiente ejemplo, en el cual se emplea permanganato de potasio (KMnO_4) diluido como agente oxidante:



Dado que dos grupos $\text{OH}-$ son adicionados al doble enlace, se forman alcoholes dobles, conocidos como **glicoles**. Otros agentes oxidantes son el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y el ozono (O_3).

1.2.6 Obtención de hidrocarburos insaturados

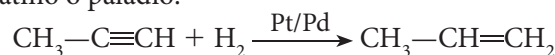
Los hidrocarburos insaturados, al igual que los alcanos se obtienen principalmente de la refinación del petróleo crudo, a través de pirólisis, es decir, descomposición por acción del calor. Por ejemplo:



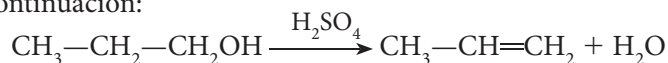
La descomposición térmica de cadenas carbonadas más grandes da lugar a una mezcla de hidrocarburos de diferentes tamaños, dentro de los cuales, el más abundante es el eteno. La reacción suele ser catalizada por óxidos de silicio (SiO_2) o aluminio (Al_2O_3).

Otras formas de obtención de alquenos son:

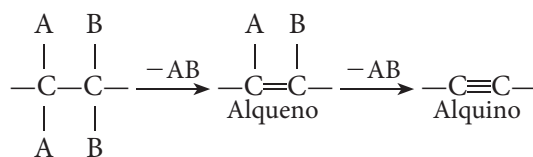
— **Hidrogenación catalítica de alquinos:** en la siguiente reacción se muestra la obtención de propeno a partir del propino, catalizada con platino o paladio:



— **Deshidratación de alcoholes en medio ácido:** por ejemplo, se puede obtener propeno a partir de propanol, como se muestra a continuación:



Por otra parte, los alquinos se obtienen principalmente por deshidrogenación y deshalogenación de derivados de alquenos, según la reacción:



Halogenuro de alquilo

EJERCICIO

Indica por medio de reacciones cómo realizarías las siguientes transformaciones:

- 2-buteno a 2,3 diclorobutano.
- propino a 2,2 dicloropropano.



1.3 El petróleo

El petróleo constituye una de las principales fuentes naturales de hidrocarburos, los cuales son indispensables en la sociedad actual. Por esta razón dedicaremos una cuantas páginas para mencionar sus principales características y aplicaciones.

1.3.1 Origen

El petróleo es un combustible fósil que se formó hace millones de años durante un largo proceso, en el cual, la materia orgánica (vegetal y animal, principalmente de origen marino) se fue almacenando en cuencas de sedimentación de zonas costeras. Estos depósitos fueron cubiertos por capas sucesivas de arena, arcilla y barro que, con el tiempo se endurecieron. Bajo estas circunstancias, la degradación de la materia orgánica ocurrió lentamente, debido principalmente a la escasez de oxígeno y gracias a microorganismos como las bacterias anaerobias. Sumado a la falta de oxígeno, las elevadas presiones y temperaturas, dieron como resultado la formación de petróleo.

El petróleo crudo, es decir, en estado natural, se encuentra embebido en las rocas porosas de la corteza terrestre, semejante al agua en una esponja, y no a manera de lagos subterráneos, como tiende a pensarse. Se trata de una mezcla de hidrocarburos de diferentes pesos moleculares, en estado sólido, líquido y gaseoso, además de pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno y oxígeno.

1.3.2 Explotación

A través de una serie de estudios preliminares, que incluyen imágenes satelitales, sismografía, topografía y análisis de suelos, entre otros, se puede localizar con cierta precisión una posible zona para explotación petrolera, así como valorar cuantitativa y cualitativamente el yacimiento. Por ejemplo, es importante saber a qué profundidad se encuentra la fuente de crudo y qué tan fácil es llegar a esta.

Una vez detectado un yacimiento se procede a perforar las distintas capas de la superficie terrestre, utilizando una broca muy resistente, denominada **trépano**.

A medida que avanza la perforación se van encontrando depósitos de aguas subterráneas, rocas de diferentes estratos, grietas y toda una serie de accidentes geológicos propios de la litosfera. Para evitar el desmoronamiento de la columna se acostumbra recubrir la superficie de la misma con tubos de acero y una mezcla de lodo y cemento, especialmente preparada para este fin (figura 7).

Por lo general, el pozo petrolero contiene en su parte superior una gran masa de gas y en la parte inferior una capa de agua salada. Dado que en el interior de los yacimientos, el petróleo y los gases se encuentran a altas presiones, una vez la columna de perforación alcanza la parte superior del yacimiento, parte de esta presión es liberada, facilitando la ascensión del petróleo hacia la superficie. Cuando la presión normal no es suficiente para evacuar el petróleo, se hace necesario inyectar aire o agua a presión para facilitar el ascenso del petróleo crudo y, por último, se conectan bombas que pueden funcionar por mucho tiempo para asegurar el suministro continuo del crudo.



Figura 7. Explotación de yacimientos de petróleo. Un pozo petrolífero se puede encontrar entre los 2.000 y 3.000 m, e incluso hasta a 7.000 m de profundidad.

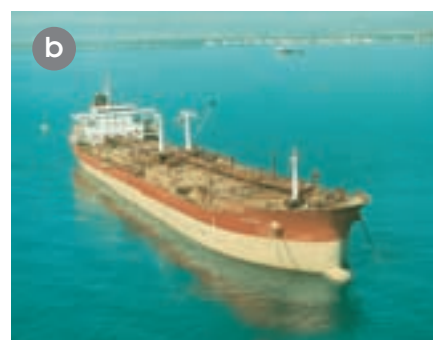


Figura 8. Una vez extraído, el petróleo es transportado a las refinerías, a través de oleoductos (a), o de grandes barcos cisterna (b).

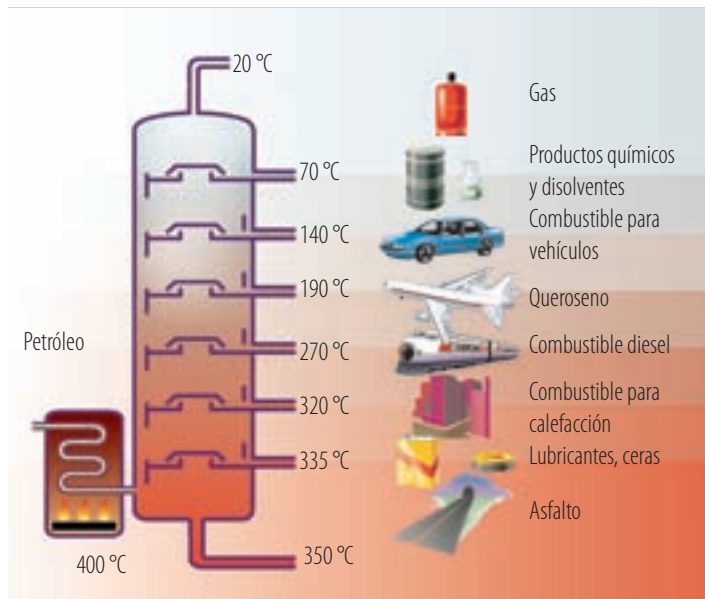


Figura 9. Torre para destilación fraccionada del crudo.

1.3.3 Refinación

El producto que se extrae de un pozo petrolero es, como dijimos, una mezcla de gases, agua, sales e hidrocarburos. Cada una de estas fracciones es separada, de manera que los hidrocarburos, es decir, el petróleo propiamente dicho, pueda ser transportado, vía **oleoductos** o **buques tanque**, hasta una refinería (figura 8).

Son muy pocas las aplicaciones que tiene el petróleo crudo. Es necesario pues, someterlo a una serie de procesos físicos y químicos para obtener un gran número de productos con diversas aplicaciones industriales.

El primer paso para refinar el petróleo es la **destilación**, luego de lo cual se obtienen varias fracciones, dependiendo del punto de ebullición de los compuestos de cada fracción:

- **Gas natural:** mezcla de hidrocarburos de bajo peso molecular (entre 1 y 4 carbonos) como metano, etano, propano, butano e isobutano, con puntos de ebullición inferiores a los 20 °C. Es de anotar que la mayor parte del gas se obtiene directamente del pozo de extracción.

- **Gasolina:** consistente en hidrocarburos de 5 a 11 carbonos, con puntos de ebullición entre 30 y 200 °C.
- **Queroseno:** hidrocarburos de 11 a 14 carbonos, con puntos de ebullición entre 175 y 300 °C.
- **Gasóleo:** hidrocarburos de 14 a 25 carbonos cuyos puntos de ebullición están entre 275 y 400 °C.

Por último, el residuo es destilado a presión reducida para obtener hidrocarburos pesados, que se emplean como aceites lubricantes, vaselina, asfalto y ceras.

La destilación se lleva a cabo en dispositivos conocidos como **columnas de fraccionamiento**, pues su función es separar las distintas fracciones o partes que constituyen el petróleo. Estas columnas pueden tener hasta 60 metros de altura (figura 9).

1.3.4 La gasolina

Uno de los derivados más importantes del petróleo, es sin duda, la gasolina, que se usa como combustible en todo el mundo y de la cual depende la economía. Por esta razón, cerca del 90% del petróleo crudo se destina para la fabricación de combustibles como la gasolina. Dado que entre el 25-30% del crudo es gasolina, el porcentaje restante se obtiene de la manipulación de las otras fracciones.

La destilación del crudo es sólo el primer paso para la producción de gasolina comercialmente apropiada, pues la fracción que se separa como tal, al inicio de la destilación ocasiona daños en los motores de combustión interna, debido a un fenómeno conocido como **golpeteo del motor**. El **golpeteo del motor** es causado por la combustión incontrolada de la gasolina.

Ocurre que en las cámaras de combustión de los motores de combustión interna —como aquellos presentes en los automóviles— la combustión debe ser homogénea en todo el volumen de la cámara y debe producirse justo cuando se produce la chispa detonante de la mezcla de aire y gasolina, presente en la cámara. La gasolina sin procesar, se compone de hidrocarburos de cadenas lineales, poco ramificadas, que suelen quemarse desordenadamente y en diferentes tiempos, fenómeno denominado **preignición**.



Este es el responsable del sonido de golpeteo dentro de la cámara de combustión, lo que ocasiona que las piezas del mecanismo encargado de transformar la energía química y calórica de la combustión en energía cinética, no se acoplen adecuadamente, ocasionando recalentamiento del motor o ruptura de sus piezas.

Se ha observado que los hidrocarburos ramificados no presentan este problema, por lo que la gasolina con propiedades detonantes óptimas está compuesta por una mezcla de hidrocarburos de 5 a 10 carbonos, algunos de cadena lineal y otros ramificados. Uno de los componentes principales de esta mezcla es el **isooctano**, con base en el cual se mide qué tan buena es una gasolina. Esto se hace a través de una escala de **octanaje** o **índice de octano**, que indica la proporción de isooctano presente en la mezcla.

Un octaje de 0 indica propiedades detonantes deficientes y se relaciona con la presencia del heptano, un combustible especialmente de mala calidad, que produce un gran golpeteo. Por el contrario, un octanaje de 100 se refiere a un combustible óptimo, con dominancia de isooctano.



Figura 10. Pegantes, pinturas, aceites son algunos de los muchos productos que se producen a partir del petróleo.

1.3.5 Otros derivados

En la tabla que aparece a continuación se resumen algunos de los productos más importantes derivados del petróleo, que representan el 10% del crudo extraído (figura 10).

EJERCICIO

Elabora una lista que contenga por lo menos diez productos o subproductos del petróleo que uses en tu entorno y señala las aplicaciones que les das.

Producto	Usos
Gas propano	Combustible doméstico.
Éter de petróleo	Disolventes, lavado en seco.
Bencina industrial	Materia prima de disolventes alifáticos o en algunos casos como combustible doméstico.
Disolventes alifáticos	Extracción de aceites, pinturas, pegantes y adhesivos; para la elaboración de thinner, para producir gas para quemadores industriales; para la elaboración de tintas, formulación y fabricación de productos agrícolas, productos de caucho, ceras, betunes y artículos de limpieza en general.
Asfaltos	Construcción y conservación de vías y como material sellante e impermeabilizante.
Vaselina	Lubricación, pomadas y cremas.
Parafina	Bujías, protección de cierres.
Alquitrán aromático o arotar	Fabricación de llantas y como diluyente.
Ácido nafténico	Preparación de sales metálicas tales como naftenatos de calcio, cobre, zinc, plomo, cobalto, etc., que se aplican en la industria de pinturas, resinas, poliéster, detergentes, tensoactivos y fungicidas.
Tolueno	Disolvente en la fabricación de pinturas, resinas, adhesivos, pegantes, thinner y tintas; como materia prima del benceno.
Alquilbenceno	Detergentes en polvo, líquido y barra, para elaborar plaguicidas, en la industria de curtientes y la fabricación de ácidos sulfónicos.
Bases lubricantes	Aceites lubricantes para automotores y máquinas industriales.



Figura 11. La fotografía muestra una panorámica de una fábrica de polietileno, un plástico ampliamente usado en la industria.

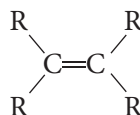
1.4 Los polímeros

Los polímeros son macromoléculas compuestas por cadenas de unidades más pequeñas, denominadas **monómeros**. De acuerdo con el origen, los polímeros pueden clasificarse en naturales y sintéticos. Los sintéticos han venido desplazando a los naturales debido a su bajo costo de producción y amplia disponibilidad.

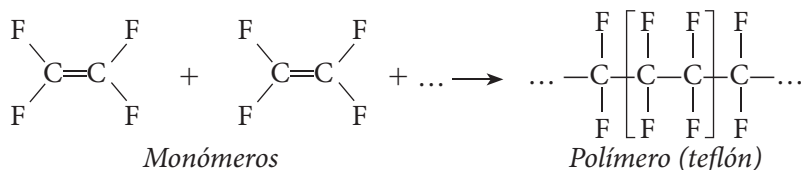
1.4.1 Polimerización

El proceso mediante el cual se unen los monómeros para formar estas gigantes moléculas se llama **polimerización** y puede llevarse a cabo de dos maneras diferentes: por adición y por condensación (figura 11).

- **Polimerización por adición:** en este caso la unión (adición) sucesiva de monómeros, da lugar a la macromolécula. Los monómeros se caracterizan por presentar uno o más enlaces dobles, según la fórmula general:

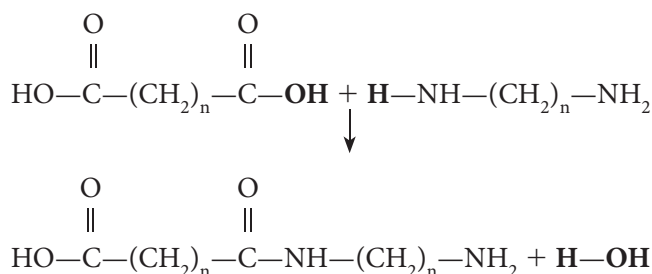


En donde R puede ser un átomo de hidrógeno o de un halógeno o un grupo funcional cualquiera. A través de la apertura del doble enlace se genera una nueva unión entre carbonos de diferentes monómeros. Por ejemplo, el teflón, un polímero que se usa como recubrimiento de accesorios de cocina, se obtiene por la polimerización del fluoroetileno, tal como puede apreciarse en la siguiente ecuación:



- **Polimerización por condensación:** la síntesis del polímero se da como resultado de la eliminación de una molécula pequeña —generalmente agua— cada vez que se une un nuevo monómero. Los polímeros de condensación están formados por dos o más tipos de monómeros y se preparan a partir de monómeros que contienen dos o más grupos funcionales. Los grupos carboxilo ($-\text{COOH}$), amino ($-\text{NH}_2$) y alcohol (OH^-), son los más usados para estos fines.

El nylon, un polímero usado en la confección de prendas de vestir, es el producto de la reacción entre un ácido dicarboxílico y una amina. La reacción general se puede representar de la siguiente manera:



El dímero (formado por dos monómeros) que resulta de esta reacción, puede seguir reaccionando, a su vez, con otras moléculas por ambos extremos, alargando así indefinidamente la cadena que constituye el polímero.

EJERCICIO

Elabora un concepto de polímero y menciona por lo menos cinco ejemplos de polímeros que uses en tu hogar.



1.4.2 Clases de polímeros

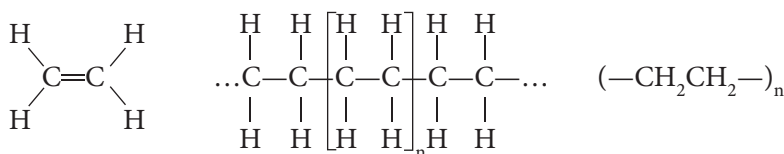
Los polímeros se clasifican de acuerdo con sus propiedades físicas o al uso que se les da. Así, podemos identificar dos grupos principales: termoplásticos y termoestables. Adicionalmente, se distinguen los elastómeros, dentro de los cuales es posible encontrar polímeros de los dos grupos mencionados primero.

Termoplásticos

Se caracterizan porque no se descomponen con la temperatura, sino que se vuelven fluidos, lo cual hace que se puedan moldear y procesar varias veces. Estructuralmente, son cadenas largas, sencillas o ramificadas que se disponen desordenadamente en una especie de madeja. Al aumentar la temperatura, la madeja se vuelve laxa, mientras al disminuir se contrae, pero no se funde.

Los termoplásticos más importantes en la actualidad son:

- **Poliétileno:** representa el 40% de la producción de termoplásticos. Es un polímero de adición que se obtiene de la polimerización del eteno:

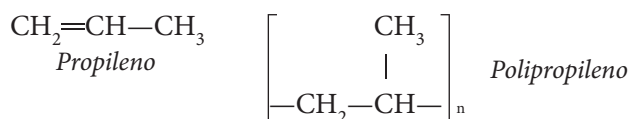


Eteno o etileno

Poliétileno

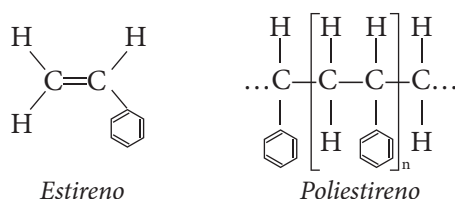
Es translúcido, resistente y estable frente al ataque de gran número de productos químicos, propiedades que lo convierten en un material muy adecuado para la fabricación de envases y bolsas.

- **Polipropileno:** representa el 20% de la producción de termoplásticos y se obtiene de la polimerización del propileno:



Es un material translúcido, químicamente inerte a la mayoría de agentes degradadores, aunque susceptible a la radiación ultravioleta. Es relativamente barato y se emplea en la fabricación de partes para electrodomésticos, envases esterilizables y objetos diversos para el hogar.

- **Poliestireno:** constituye el 10% de los termoplásticos producidos industrialmente y se obtiene de la polimerización del estireno:



Estireno

Poliestireno

No se altera por acción de la humedad y es un buen aislante de la corriente eléctrica, por lo que se emplea en la fabricación de lentes, utensilios desechables y en forma de espuma (icopor) como protector de máquinas y equipos (figura 12).



Figura 12. Polímeros de uso común: a) envases de polietileno, b) espuma de poliestireno y c) y d) PVC en diferentes presentaciones.

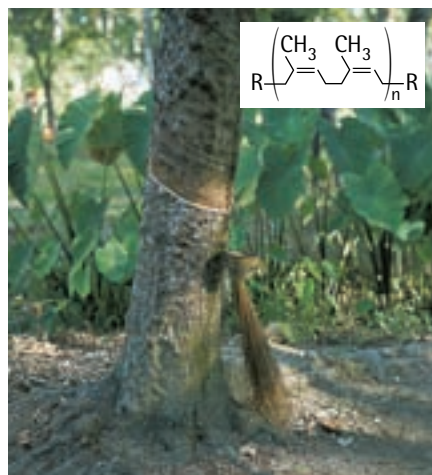


Figura 13. El árbol de cuya corteza se extrae el látex, materia prima del caucho vulcanizado.



Figura 14. El poliuretano se emplea como termoestable en múltiples aplicaciones biomédicas.



Figura 15. Esquema del funcionamiento básico de una extrusora.

Termoestables

Se diferencian de los termoplásticos en que por encima de una cierta temperatura se descomponen, por lo que sólo pueden moldearse inmediatamente después de ser preparados. Como estos materiales se queman antes de fundirse, mantienen la forma con la cual fueron moldeados. Estructuralmente son cadenas largas con conexiones cortas entre ellas formando un retículo. Los polímeros termoestables más empleados son las **resinas fenólicas**, que constituyen el 35% de la producción. La baquelita es una de ellas, empleada en la fabricación de manijas para utensilios de cocina, enchufes y objetos eléctricos en general.

Elastómeros

Su principal característica es su gran elasticidad. Pueden ser termoplásticos o termoestables, según la manera como sean procesados.

- **Caucho natural:** se encuentra como látex exudado del tronco de algunas plantas como la *Hevea brasiliensis* (figura 13). Es un polímero de 2-metil-1,3-butadieno o isopreno, un alqueno con dos enlaces dobles. Recién extraído es sólido, amarillo pardo y termoplástico, por lo que no tiene muchas aplicaciones. Con el fin de mejorar sus propiedades, para hacerlo más duro, más resistente a la degradación o simplemente para darle coloraciones diversas, el caucho natural se somete a un procedimiento conocido como **vulcanización**, que consiste en la adición —en caliente— de azufre. El azufre forma enlaces cruzados entre las cadenas lineales, dándole al polímero una estructura reticulada, como consecuencia de lo cual, éste se vuelve termoestable. De esta manera, el caucho se utiliza para preparar adhesivos, hilos, tejidos, guantes para cirugía y llantas.
- **Poliuretanos:** son el 25% del total de la producción de elastómeros. Dependiendo del proceso mediante el cual son preparados pueden ser empleados, como termoestables, para fabricar espumas para sillas, o como termoplásticos, en aplicaciones biomédicas (figura 14).
- **Neopreno:** sustitutivo del caucho natural, debido a su altísima resistencia a la degradación y a la acción de disolventes y otros agentes químicos, se usa en la fabricación de artículos para deportes acuáticos, en recubrimientos y contenedores de productos químicos.

Métodos de procesamiento: extrusión

La extrusión es la técnica de procesamiento de polímeros termoplásticos más usada en la actualidad. Casi todos los polímeros que se producen hoy en día pasan por una extrusora al menos una vez entre el momento de la polimerización y la fabricación del producto final. Una extrusora es una máquina compuesta por un tubo y una especie de tornillo interior, cuyo diámetro es sólo un poco menor que el diámetro interno del tubo y que rota en el interior de éste (figura 15). Dentro de la extrusora el plástico, inicialmente sólido, es homogenizado y su presión y temperatura son elevadas, hasta que es fundido y obligado a pasar a través de un orificio con la forma que se le quiere dar. El resultado es un material formado, que debe ser enfriado, para que retenga la forma conferida. De esta forma se fabrican bolsas, envases, mangueras o cualquier otro artículo.



Interpreta

1 Los hidrocarburos son compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en sus estructuras. Estos a su vez, se dividen en alifáticos y aromáticos. Explica las diferencias que presentan estas dos subdivisiones y determina la relación que existe entre ellas y los fenómenos de saturación e insaturación.

2 Con base en la respuesta anterior, completa la siguiente tabla. Escribe un ejemplo para cada caso.

Hidrocarburo	Ejemplo
Aromático	
Alifático	
Saturado	
Insaturado	

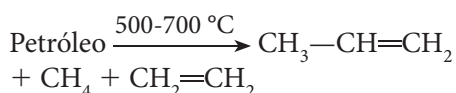
3 Las cadenas resultantes de las uniones entre átomos de carbono en un hidrocarburo pueden ser indefinidas, debido a sus cuatro orbitales sp^3 con ángulos de enlace tetraédrico de 109 grados. Determina si la estructura lineal de un hidrocarburo es la real. Si tu respuesta es negativa, explica cómo sería su estructura.

4 Según la clasificación de los hidrocarburos, existe un grupo llamado hidrocarburos cíclicos. Representa la estructura de un compuesto acíclico de cuatro carbonos y un compuesto cíclico del mismo número de átomos de carbono.



Argumenta

5 Los hidrocarburos insaturados, al igual que los alcanos, se obtienen principalmente de la refinación del petróleo crudo, mediante la pirólisis, es decir, la descomposición por acción del calor. Por ejemplo:



Explica:

a) ¿Por qué el eteno es el compuesto de mayor abundancia en la descomposición térmica del petróleo?

b) ¿Cuáles son los catalizadores más utilizados en las descomposiciones térmicas?

6 Los polímeros son macromoléculas formadas por cadenas de unidades más pequeñas, denominadas monómeros. Dependiendo de su origen, los polímeros pueden clasificarse en naturales y sintéticos. Los sintéticos han desplazado a los naturales debido a su bajo costo de producción y amplia disponibilidad. Responde:

a) ¿Qué aplicaciones tienen las reacciones de la polimerización?

b) ¿Se producen sustancias contaminantes en el proceso de unión de los monómeros?

c) ¿Qué diferencias existen entre el caucho natural, los poliuretanos y el neopreno?



Propone

7 El petróleo crudo, es decir, en estado natural, se encuentra embebido en las rocas porosas de la corteza terrestre, semejante al agua en una esponja, y no a manera de lagos subterráneos, como se cree. Por lo general, el pozo petrolero contiene en su parte superior una gran masa de gas. Responde:

a) ¿Qué precauciones se deben tener en la explotación del petróleo?

b) ¿Cuál es el impacto ambiental de la explotación del petróleo?

c) ¿Qué compromisos debe cumplir una empresa que explota el petróleo en relación con el medio ambiente?

8 Hidrocarburos como los alcanos, los alquenos y los alquinos muestran un aumento progresivo de los valores de constantes físicas, como puntos de ebullición y de fusión, a medida que se adicionan carbonos a las cadenas. Sin embargo, compuestos de este grupo de bajo y alto número de carbonos son insolubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos como el éter y el alcohol. Explica:

a) ¿Cuáles son las reacciones características de los hidrocarburos? Explica tu respuesta.

b) ¿La solubilidad de los alcanos, los alquenos y los alquinos es la misma en los solventes mencionados? Justifica tu respuesta.

c) ¿Cómo diferenciarías experimentalmente las clases de hidrocarburos? Explica tu respuesta.

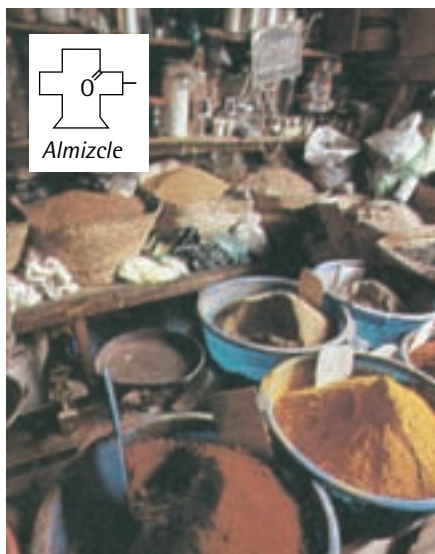


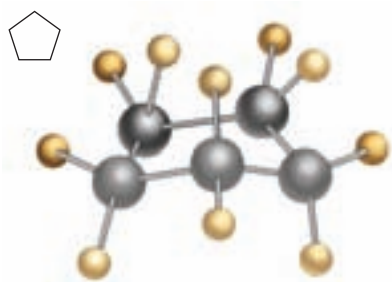
Figura 16. Las propiedades aromáticas de las especias se relacionan con la presencia de moléculas cíclicas.

2. Hidrocarburos cíclicos

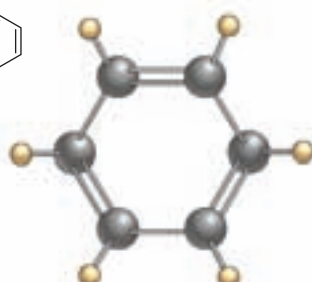
Las propiedades aromáticas de sustancias como el aceite de clavos, la vainilla, la canela o las almendras, se relacionan con la presencia de compuestos orgánicos cuyas moléculas tienen conformación cíclica. No obstante, como veremos en breve no todas las moléculas cíclicas son aromáticas.

2.1 Clasificación

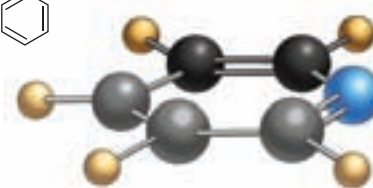
Los hidrocarburos cíclicos pueden dividirse en dos grupos principales: **alifáticos cíclicos** o **alícíclicos** y **aromáticos** (figura 16). Los alícíclicos son hidrocarburos saturados o insaturados en los cuales la cadena se pliega para formar una especie de anillo. Los aromáticos constituyen un grupo de compuestos definido principalmente por su comportamiento químico particular. Estructuralmente, la gran mayoría de los aromáticos son derivados del benceno, hidrocarburo de seis carbonos, cuya estructura detallaremos más adelante. No obstante, dentro de este grupo también se incluyen otras sustancias, que se comportan como aromáticos, pero presentan átomos diferentes al carbono formando la estructura cíclica. Por esta razón estos compuestos se conocen como **heterocíclicos**, mientras que los alícíclicos y los demás aromáticos son **homocíclicos**.



Ciclopentano
(cicloalcano,
homocíclico)



Benceno
(aromático,
homocíclico)



Piridina
(aromático,
heterocíclico)

Es bueno aclarar que los compuestos heterocíclicos no son hidrocarburos, en el sentido estricto de los términos, por lo que no se tratarán en esta unidad.

2.2 Compuestos alícíclicos

Los hidrocarburos cíclicos son compuestos semejantes a los alcanos y alquenos de cadena lineal equivalente, diferenciándose en que los extremos de la cadena carbonada se unen formando un anillo o ciclo. Este proceso implica la pérdida de un átomo de hidrógeno en cada extremo de la cadena. Por lo tanto, se presentan dos enlaces C—H menos y la fórmula general correspondiente es entonces C_nH_{2n} . En adelante, nos referiremos principalmente a los cicloalcanos, ya que los cicloalquenos se comportan químicamente de forma similar a los alquenos alifáticos.

Los cicloalcanos se diferencian de los alcanos de cadena lineal en que los enlaces σ C—C no permiten tanta rotación como en éstos. Así, el ciclopropano es una estructura de tres lados, plana y rígida.

EJERCICIO

Consulta sobre cinco estructuras cíclicas y cinco estructuras aromáticas; escribe sus fórmulas y menciona sus aplicaciones.



La libertad de rotación aumenta progresivamente a medida que aumenta el tamaño del anillo, hasta que se alcanza casi la misma movilidad de la estructura alifática correspondiente, como es el caso del cicloalcano de 25 carbonos. Esta característica permite la existencia de isómeros cis-trans en cicloalcanos de bajo peso molecular (3-7 carbonos), como se muestra en la figura 2a, para el dimetilciclopropano.

2.2.1 Conformación y estabilidad de cicloalcanos

En las últimas décadas del siglo XIX se habían aislado con éxito moléculas cíclicas de cinco y seis carbonos, pero no se conocían anillos mayores, ni menores. Como explicación a esta situación, **Adolf von Baeyer** (1835–1917) propuso, en 1885, que: dado que en los alcanos y alquinos alifáticos, los ángulos de enlace entre carbonos son 109° y 120° , respectivamente, la formación de estructuras cíclicas debían suponer una desviación de estos ángulos y por tanto, los anillos con menos de cinco o más de seis átomos de carbono debían estar sometidos a demasiada tensión como para existir como estructuras estables.

Baeyer tenía razón en cuanto que el plegamiento de una molécula en una forma cíclica implica alteraciones en el valor de los ángulos de enlace y que esas alteraciones ocasionan una cierta tensión en los enlaces, haciendo a las moléculas inestables. Sin embargo, los anillos de menos de cinco y de más de seis carbonos sí existen, sólo que no se trata de estructuras planas, como suponía Baeyer, sino que presentan deformaciones tridimensionales, con el fin de minimizar las tensiones entre enlaces (figuras 17b, c, d y e).

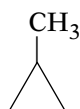
El ciclohexano es una molécula especial dentro de los cicloalcanos, puesto que la conformación que adoptan los átomos, especialmente en la forma de silla (figura 17d), elimina todas las tensiones, haciendo de la molécula una estructura especialmente estable. Esto explica su amplia ocurrencia en la naturaleza, siendo un importante agente farmacéutico. La forma de bote es menos frecuente debido a su inestabilidad.

La tensión presente en los nodos de enlace entre átomos, ocasiona una gran predisposición de estos compuesto a las reacciones donde ocurra apertura del ciclo. Experimentalmente se ha encontrado que la facilidad para dar reacciones de apertura de ciclo aumenta a medida que se hace mayor la tensión del mismo lo cual está en proporción inversa al tamaño del ciclo.

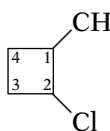
2.2.2 Nomenclatura

El nombre principal del hidrocarburo cíclico va precedido del prefijo ciclo con el nombre y terminación del alcano o alqueno lineal que tenga el mismo número de carbonos, como hemos estado mencionando hasta ahora.

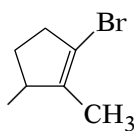
Los hidrocarburos cíclicos sustituidos se nombran ordenando los sustituyentes alfabéticamente y teniendo en cuenta que reciban los números más bajos posibles. Estos son algunos ejemplos:



Metilciclopropano



2-cloro-1-metilciclobutano



1-bromo-3-cloro-2-metilciclopentano

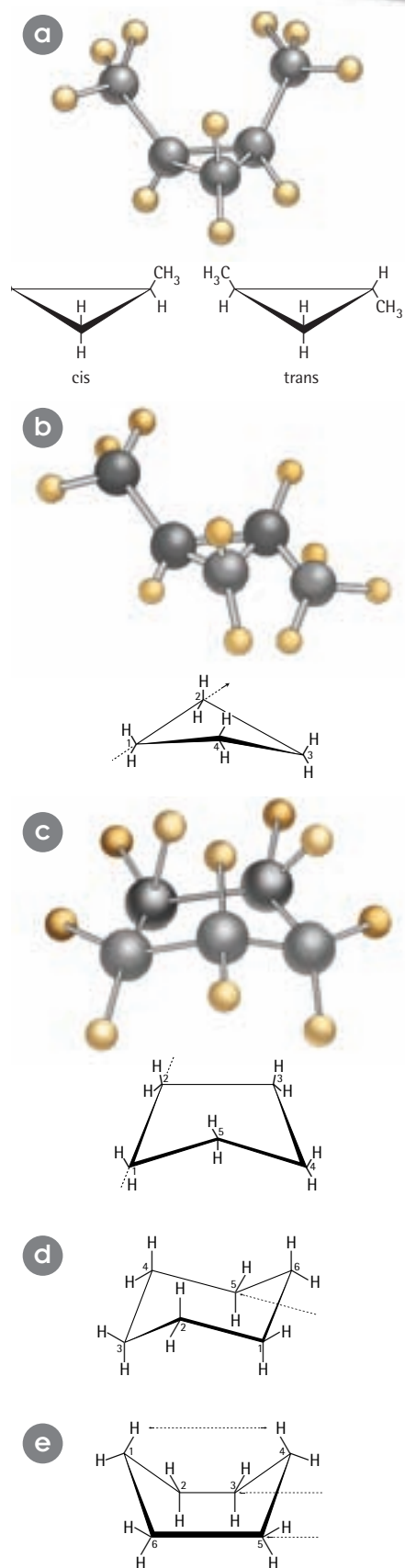


Figura 17. Representaciones esquemáticas de la forma adoptada por las moléculas de algunos cicloalcanos para reducir al máximo la tensión de enlace.

a) 1,2-dimetilciclopropano, isómeros cis y trans, b) ciclobutano, c) ciclopentano, d) ciclohexano, forma de silla y e) ciclohexano, forma de bote.

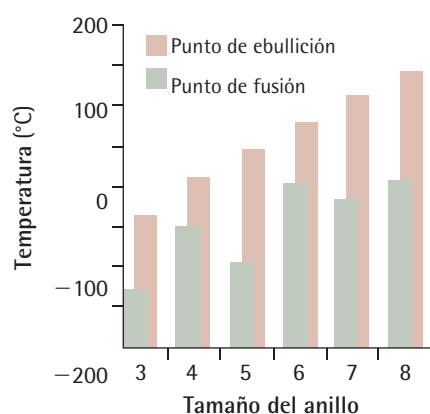


Figura 18. Gráfica de temperaturas de fusión y ebullición de algunos cicloalcanos con relación al número de carbonos presentes.

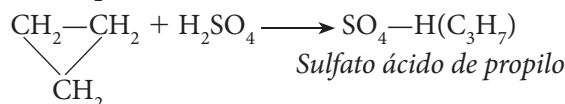
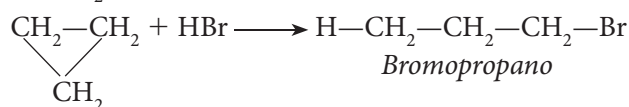
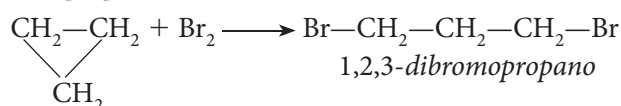
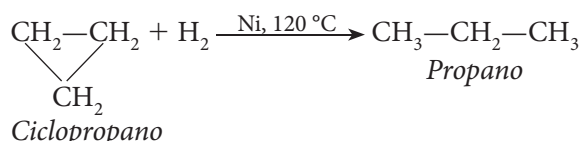
2.2.3 Propiedades físicas

El punto de fusión de los cicloalcanos no se relaciona directamente con el número de carbonos, como se muestra en la gráfica de la figura 3, sino con la forma de las moléculas, que determina qué tan fácil se acomodan unas con otras en la estructura sólida cristalina.

El punto de ebullición, en cambio, aumenta progresivamente con el número de carbonos igual que en los alcanos alifáticos (figura 18). Sin embargo, las temperaturas de ebullición de los cicloalcanos son un poco mayores que las de los alquenos isómeros y que las de los alcanos de peso molecular comparable. Así por ejemplo, el punto de ebullición del ciclohexano es de 81 °C, mientras que el del n-hexeno es 63,5 °C y el n-hexano es 69 °C.

2.2.4 Propiedades químicas

Como mencionamos antes, los cicloalcanos son propensos a reacciones de adición en las cuales la estructura cíclica se abre. A continuación se muestran algunos ejemplos, para el ciclopropano:

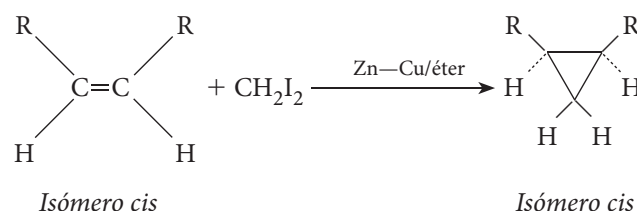


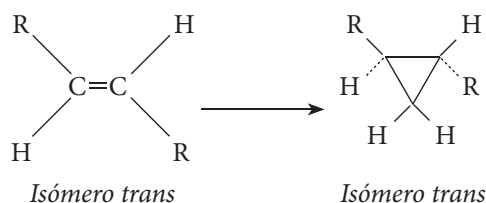
2.2.5 Obtención de compuestos cíclicos

Existen varios métodos para la preparación de los cicloalcanos, de los cuales mencionaremos dos de los más usuales:

Reacción de Simmons-Smith

Esta reacción consiste en la adición de yoduro de metileno o diyodometano, CH_2I_2 , a un alqueno, en presencia de un par zinc-cobre, con la consecuente adición de un grupo CH_2 y formación del anillo. Esta reacción conduce a la formación de un sólo isómero, dependiendo de compuesto inicial, como se muestra a continuación:





Reacciones generales

Ejemplos:

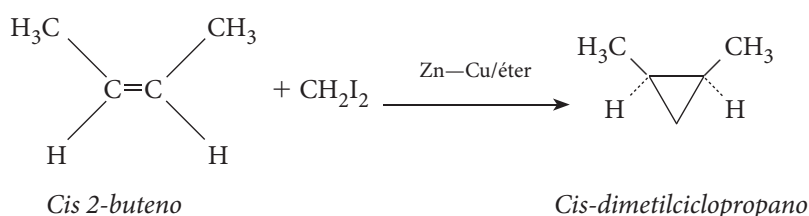
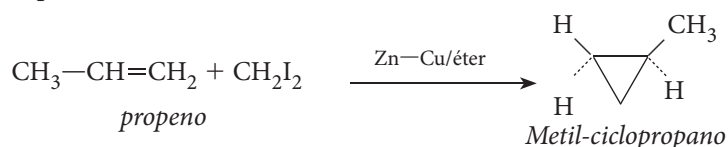
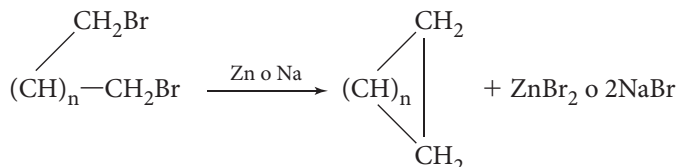


Figura 19. Algunos edulcorantes son derivados del ciclohexano.

A partir de alcanos dihalogenados

En forma general la reacción se puede expresar así:



2.2.6 Derivados de compuestos cíclicos

Los productos derivados de los cicloalcanos más simples se resumen en la siguiente tabla:

Compuesto	Derivados	
Ciclopropano	Debido a la gran inestabilidad de este ciclo, son pocos los derivados que se conocen. En las piretrinas, principios activos del pelitre, insecticida muy poderoso, existe el ciclo triangular y también el pentagonal.	
Ciclobutano	Ácidos trujillicos y trujinicos obtenidos a partir de alcaloides secundarios, como los presentes en la coca. Son ácidos difenildicarboxílicos como el siguiente:	
Ciclopentano	Muy variados y numerosos son los ácidos nafténicos, que se encuentran en los petróleos rusos, especialmente y cuyas sales alcalinas se emplean como detergentes.	
Ciclohexano	Son los más abundantes por su estabilidad y por su relación con el benceno. Derivados simples: ciclohexanol y ciclohexanona, empleados en la fabricación del nailon.	
	 Inositol	 Sucral cálcico y sódico derivados del ácido ciclohexansulfámico (edulcorantes) (Figura 19)

Ciclohexilamina (inhibidor de corrosión por los aceites lubricantes; tratamiento de fibras sintéticas, preparación de sales de amonio cuaternario del ácido salícico empleadas como insecticidas, emulsificantes y agentes de acción detergente, preparación de derivados de acción analgésica, anestésica y espasmolítica, también facilita la separación cromatográfica de aminoácidos).

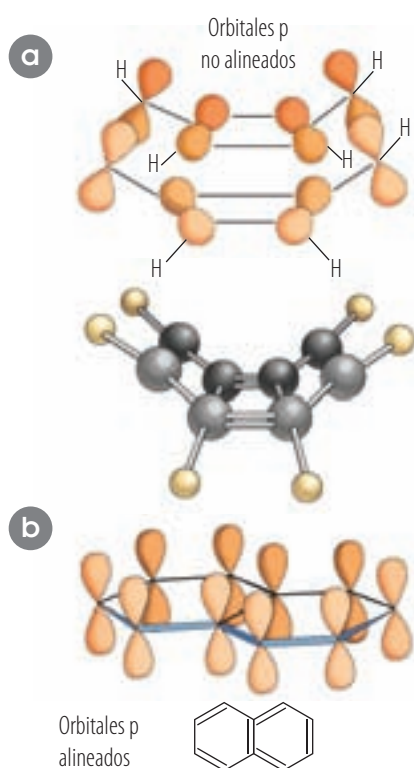


Figura 20. a) Ciclooctatetraeno, compuesto cíclico no aromático, dado que no tiene un número $4n + 2$ de electrones y los orbitales p no se alinean adecuadamente para conjugarse. b) Naftaleno, compuesto aromático, con 10 ($n = 2$) electrones π y una estructura plana que permite la conjugación de los orbitales p.

2.3 Compuestos aromáticos

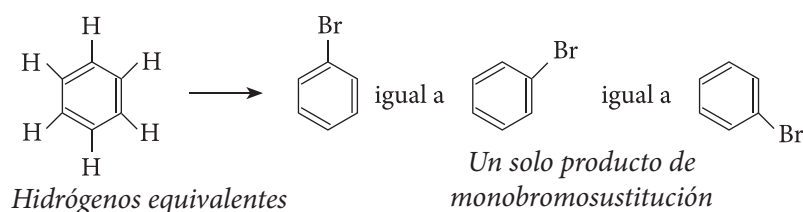
2.3.1 Fuentes naturales

Los hidrocarburos aromáticos simples, provienen de dos fuentes principales, el carbón de hulla y el petróleo. El **carbón de hulla** es una sustancia de origen mineral, formada en su mayoría por grandes arreglos de anillos insaturados del tipo del benceno, unidos entre sí. Cuando se calientan a $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ en ausencia de aire, las moléculas de la hulla experimentan desintegración térmica y se produce una mezcla de productos volátiles llamada alquitrán de hulla. Luego, por destilación fraccionada de esta mezcla se obtiene benceno, tolueno, xileno y naftaleno, entre otros. A diferencia del carbón, el **petróleo** contiene pocos hidrocarburos aromáticos. Sin embargo, durante el proceso de refinación del petróleo se forman moléculas aromáticas cuando los alcanos se hacen pasar sobre un catalizador a una temperatura de $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ y altas presiones.

2.3.2 Delimitación del grupo

Los compuestos aromáticos se diferencian de otros compuestos orgánicos, principalmente, por su comportamiento químico particular, que no se restringe necesariamente a la aromaticidad en términos de emanación de fragancias, sino que incluyen una serie de desviaciones en relación con el comportamiento típico de los alquenos y arenos cíclicos y de cadena lineal. Por ejemplo, el anillo bencénico es mucho más estable a altas temperaturas y presenta reacciones de sustitución con halógenos en lugar de las de adición propias de moléculas insaturadas.

August Kekulé (1829-1896) propuso, en 1865, que la molécula de benceno debía ser un anillo de seis átomos de carbono, insaturada, a la que denominó 1,3,5-ciclohexatrieno. Kekulé afirmó que los seis átomos de hidrógeno en el ciclohexatrieno eran equivalentes, lo cual explicaba que se aislara sólo un isómero como producto de una reacción de sustitución.



Esta propuesta era concordante con muchas de las observaciones realizadas, pero seguía siendo difícil de explicar por qué la longitud de todos los enlaces en el benceno son iguales, cuando se supone que unos son dobles y otros sencillos. Fue entonces cuando se propuso que los dobles enlaces debían estar deslocalizados como resultado de la conjugación de los orbitales p, de los carbonos con hibridación sp^2 .

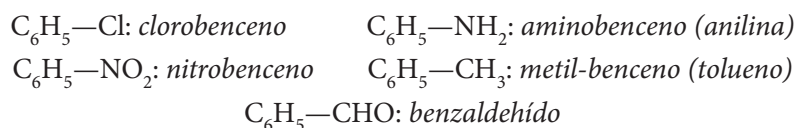
Se planteó que, lo que confiere a una molécula propiedades aromáticas es la presencia de enlaces dobles y sencillos intercalados, que además estén alineados de tal forma que no se formen enlaces π aislados sino una conjugación de los mismos, en una estructura homogénea. El físico alemán **Erich Hückel**, en 1931, estableció lo que se conoce como la **regla de Hückel**, según la cual un compuesto es aromático si presenta una conformación molecular plana y posee un número $4n + 2$ electrones π (es decir, en orbitales π no hibridados), donde n es un entero (figura 20).



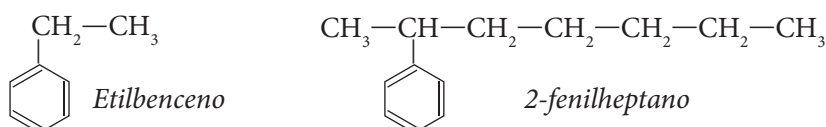
Dado que los electrones π se encuentran resonando por encima y por debajo del anillo y cada enlace carbono-carbono tiene un promedio de 1,5 electrones, siendo todos los enlaces equivalentes y de la misma longitud, los anillos aromáticos se suelen representar con un círculo central y no como enlaces dobles y sencillos intercalados (figura 21).

2.3.3 Nomenclatura

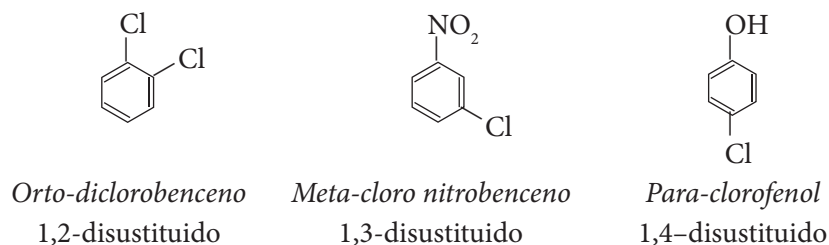
Muchos compuestos aromáticos se designan mediante nombres comunes (figura 22) o como derivados del benceno, nombrando el sustituyente unido al anillo seguido del nombre del hidrocarburo. Se sabe que los seis hidrógenos del benceno son equivalentes y por lo tanto no existe sino un solo producto monosustituido así hablamos del:



Los anillos bencénicos con sustituyentes alquilo, se nombran de dos maneras dependiendo del tamaño del grupo alquilo. Así por ejemplo, si el sustituyente alquilo tienen seis átomos de carbono o menos, el compuesto se nombra como un benceno con sustituyente alquilo. En cambio si el sustituyente alquilo es mayor que el anillo (posee más de seis carbonos), el compuesto se nombra como un alcano sustituido con un radical fenilo. El nombre fenilo, es usado para señalar el grupo $-\text{C}_6\text{H}_5$, cuando el anillo es considerado como un grupo sustituyente. Veamos:



Otra situación se presenta cuando se trata de anillos bencénicos disustituidos. En este caso se les asigna nombre usando uno de los prefijos orto, meta o para. Un benceno orto u o-disustituido es aquel que posee dos sustituyentes en una relación 1,2 en el anillo. En otras palabras, los sustituyentes se encuentran sobre carbonos adyacentes en el anillo. Un benceno meta o m-disustituido es aquel que tiene los dos sustituyentes en una relación de 1,3, es decir los sustituyentes se encuentran sobre carbonos alternos y un benceno para o p-disustituido es aquel que tiene los dos sustituyentes en una relación 1,4 en el anillo, o lo que es lo mismo están en una posición opuesta el uno con respecto al otro. Veamos:



Los anillos bencénicos con más de dos sustituyentes se nombran numerando la posición de cada sustituyente en el anillo. Esta numeración debe asignarse de tal manera que a los carbonos con sustituyentes les correspondan los números más bajos posible, numerándolos en el sentido de las manecillas del reloj. Además, los sustituyentes se deben ordenar alfabéticamente cuando se vayan a nombrar (figura 23).

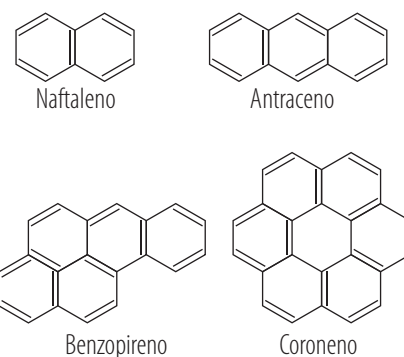


Figura 22. Los anillos de benceno se pueden unir para formar compuestos aromáticos polinucleares, los cuales se conocen más por sus nombres comunes que por los correspondientes a las normas de la IUPAC.

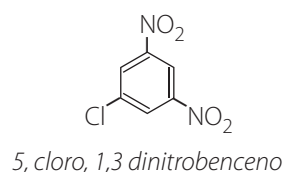
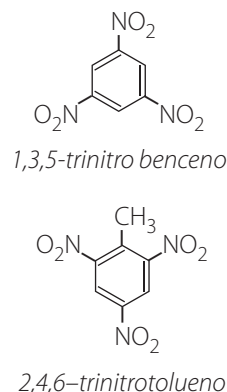


Figura 23. Nomenclatura de compuestos aromáticos con más de dos sustituyentes.

EJERCICIO

¿Por qué, desde el punto de vista de los niveles de energía y de los orbitales moleculares, un compuesto aromático tiene exactamente $4n + 2$ electrones π ?

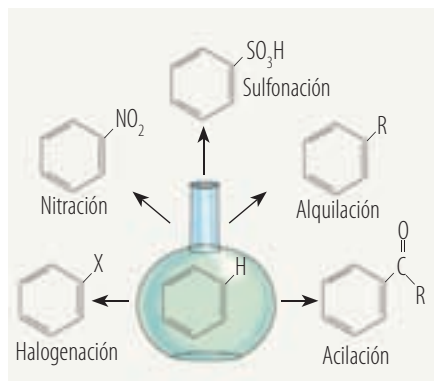


Figura 24. Principales reacciones de sustitución electrófila, típicas de los compuestos aromáticos.

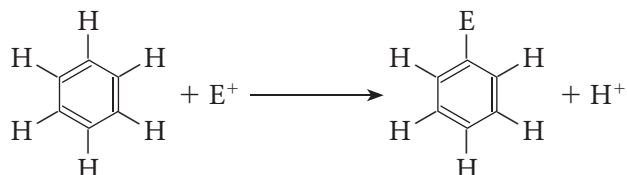
2.3.4 Propiedades físicas

El benceno es un líquido incoloro, móvil, menos denso que el agua ($0,889 \text{ g/cm}^3$). Presenta olor fuerte aunque no desagradable. Tiene un punto de ebullición de $80,1^\circ\text{C}$; y es el más volátil de los hidrocarburos aromáticos. Su punto de fusión es $5,4^\circ\text{C}$. Es insoluble en agua, pero muy soluble en solventes orgánicos, como etanol y éter. A su vez posee un gran poder disolvente para las grasas, numerosas resinas, el fósforo y el azufre.

En general el benceno y sus homólogos se parecen a los restantes hidrocarburos en sus propiedades físicas. Los hidrocarburos aromáticos son bastante inflamables y deben manejarse con precaución. El benceno es tóxico cuando se ingiere y se deben tomar muchas precauciones cuando se usa industrialmente. La inhalación prolongada de sus vapores trae como consecuencia una disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos de la sangre, lo que puede ser mortal. Algunos hidrocarburos aromáticos polinucleares son cancerígenos y su manejo debe ser muy cuidadoso.

2.3.5 Propiedades químicas

La mayoría de las reacciones químicas sobre el anillo aromático proceden por el mecanismo de la sustitución electrófila que, de forma general, se muestra a continuación:

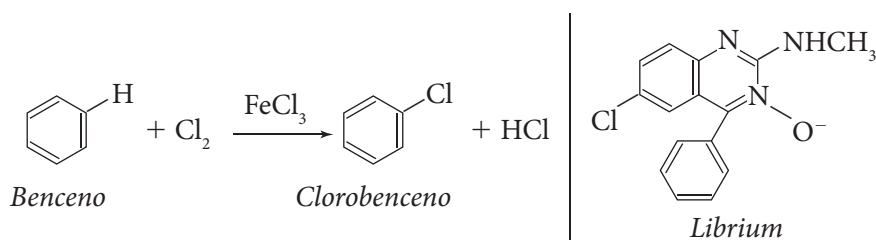


Mediante este tipo de reacción es posible introducir sustituyentes distintos en el anillo aromático. Seleccionando adecuadamente las condiciones y los reactivos, el anillo aromático se puede halogenar (sustituir con halógeno como cloro, bromo o yodo), nitrar (sustituir con un grupo nitró, NO_2), sulfonar (sustituir con un grupo sulfónico o $-\text{SO}_3\text{H}$), alquilar (sustituir con un grupo alquilo, $-\text{R}$) o acilar (sustituir por un grupo acilo, $-\text{COR}$) (figura 24).

Halogenación

El cloro y el yodo pueden introducirse en el anillo aromático mediante una reacción de sustitución electrofílica irreversible, en condiciones apropiadas. En cambio el flúor es demasiado reactivo y los rendimientos son muy bajos comparados con los anteriores.

La cloración y la bromación se realizan por acción directa del halógeno sobre el benceno en presencia de FeCl_3 como catalizador. Esta reacción es usada en la síntesis de numerosos agentes farmacéuticos, como el tranquilizante llamado librium, según se muestra a continuación:

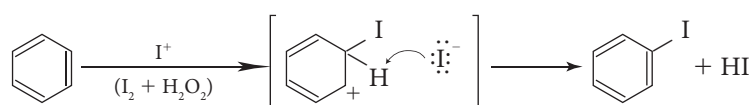


EJERCICIO

Explica la razón por la cual los alquenos experimentan reacciones de adición mientras que los hidrocarburos aromáticos presentan reacciones de sustitución.

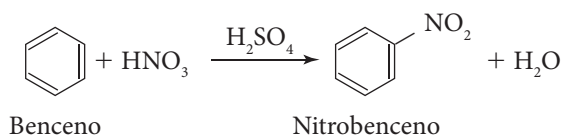


El yodo por sí mismo no reacciona con los anillos aromáticos y se necesita de un promotor para que la reacción se lleve a cabo. El reactivo usado como agente promotor es el peróxido de hidrógeno, H_2O_2 . El peróxido actúa oxidando al yodo molecular para convertirlo en una especie electrófila más potente que reacciona como I^+ . De esta manera el anillo aromático ataca al yodo y se forma el producto sustituido:

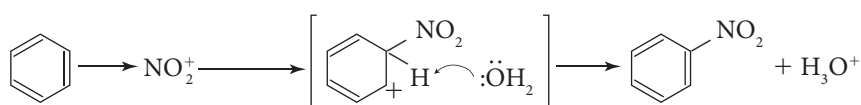
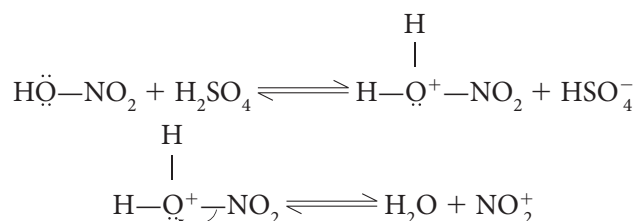


Nitración

La nitración del benceno con ácido nítrico concentrado, es una reacción irreversible y muy exotérmica, que solo se detiene por dilución del ácido, por lo que en la práctica se utiliza la mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrados, que se añaden progresivamente al benceno, enfriando y agitando. El rendimiento puede alcanzar hasta el 98%. La reacción general es:



En esta reacción el ion nitronio, NO_2^+ derivado del HNO_3 se comporta como electrófilo y reacciona con el anillo de benceno para formar el carbocatión intermedio. Luego la pérdida de un protón a partir de este intermedio genera nitrobenceno como producto de sustitución. El mecanismo de la reacción se puede ilustrar de la siguiente manera:



Sulfonación

La inserción de un grupo azufrado a un anillo aromático puede conseguirse con ácido sulfúrico y trióxido de azufre ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_3$), mezcla llamada ácido sulfúrico fumante (figura 25). El electrófilo reactivo es el HSO_3^+ o el SO_3 neutro, dependiendo de las condiciones de la reacción. Se trata de una reacción reversible que procede por el mismo mecanismo en dos etapas explicado antes. Los compuestos sulfonados del benceno se caracterizan por portar el grupo sulfónico $-\text{SO}_3\text{H}$, de carácter ácido. La reacción general se puede representar de la siguiente manera:

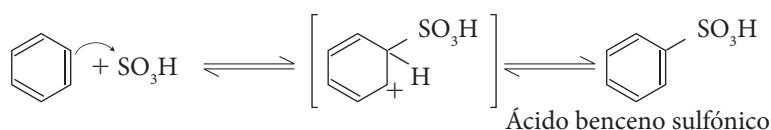


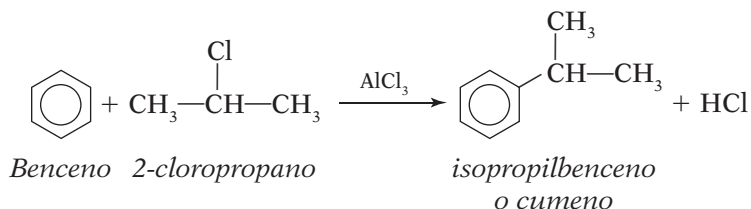
Figura 25. Las sulfas, derivadas de la sulfanilemida, fueron empleadas con gran éxito durante la segunda guerra, como antibióticos, no obstante su alta toxicidad.



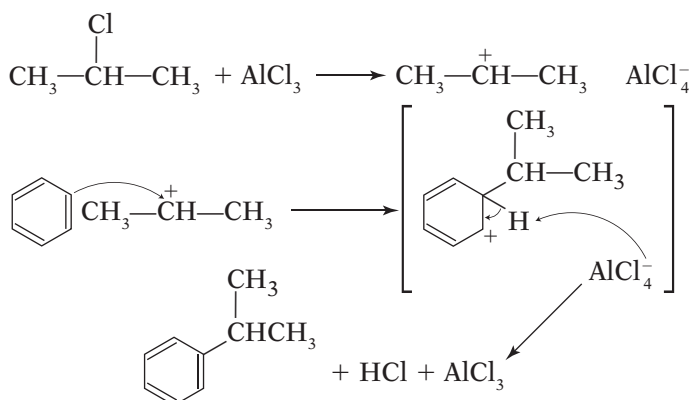
Alquilación: reacción de Friedel y Crafts

La alquilación consiste en insertar un grupo alquilo en un anillo aromático. Es la forma más directa de preparar arenos, es decir, hidrocarburos constituidos por una parte alifática y otra aromática.

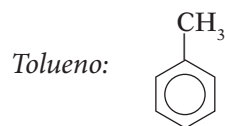
En 1877, **Charles Friedel** y **James Crafts** descubrieron la forma de alquilar el benceno mediante la reacción de un halogenuro de alquilo en presencia de tricloruro de aluminio como catalizador. Por ejemplo, el benceno reacciona con el 2-cloropropano, según el siguiente mecanismo:



El papel de AlCl_3 se basa en la ionización de grupo alquilo, que actúa entonces como un carbocatión electrófilo. El hidrógeno proveniente del benceno es atraído a su vez por el ion AlCl_4^- , para formar finalmente HCl y restablecer el catalizador. El proceso se esquematiza a continuación.



A partir de la reacción de alquilación de Friedel-Crafts, ¿cuál es la reacción que resume la formación de tolueno a partir de benceno?

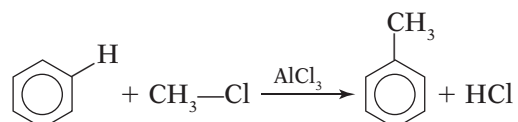


Reacción	Ejemplos
Halogenación	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{FeCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5\text{Cl} + \text{HCl}$
Nitración	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HNO}_3 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_4} \text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
Sulfonación	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{HO-SO}_3\text{H} \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{SO}_3\text{H} + \text{HOH}$
Alquilación de Friedel-Crafts	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{Cl} \xrightarrow{\text{AlCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 + \text{HCl}$
Acilación de Friedel-Crafts	$\text{C}_6\text{H}_6 + \text{CH}_3\text{COCl} \xrightarrow{\text{AlCl}_3} \text{C}_6\text{H}_5\text{COCH}_3 + \text{HCl}$

Figura 26. El cuadro presenta las reacciones más características de los hidrocarburos aromáticos:

Recordemos que la alquilación de Friedel-Crafts consiste en la introducción de grupos alquilo en el anillo aromático, partiendo de un halogenuro de alquilo (R-X) y tricloruro de aluminio (AlCl_3) como catalizador.

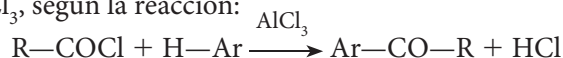
Necesitamos introducir en el anillo de benceno un grupo $-\text{CH}_3$ que debe provenir del halogenuro de alquilo cloruro de metilo (CH_3-Cl). Por lo tanto, la ecuación que resume la reacción es:





Acilación

Se trata de la sustitución de uno de los hidrógenos del anillo aromático por un grupo acilo, —COR. En general, esto se consigue a partir de un cloruro de ácido carboxílico, RCOCl, en presencia de AlCl_3 , según la reacción:

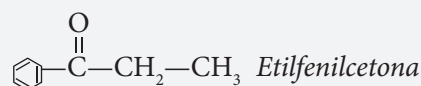


El mecanismo de la reacción es similar al explicado para la alquilación. El AlCl_3 ioniza el carbono del grupo acilo, volviéndolo una zona electrófila, que es atacada por los electrones del anillo aromático. La acilación es importante en la síntesis de cetonas aromáticas (figura 26).

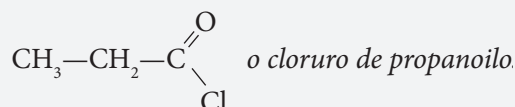
* EJEMPLOS

¿Cuál es la reacción general para la síntesis de etil-fenil-cetona, según el mecanismo de acilación?

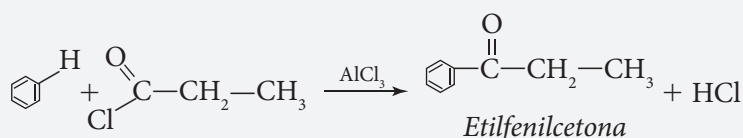
Primero escribimos la estructura de la sustancia que se va a obtener:



Ahora, para introducir un grupo acilo ($\text{RC}=\text{O}$) en un anillo aromático puede realizarse una reacción similar a la alquilación, empleando un cloruro de acilo y cloruro de aluminio. En este caso el cloruro de acilo necesario para la síntesis es el:



La reacción total es:



2.3.6 Efecto de los sustituyentes en el comportamiento químico

Activadores y desactivadores

Los sustituyentes pueden clasificarse como activadores o desactivadores del anillo aromático, según potencien o inhiban la reactividad del benceno no sustituido. La característica de los **grupos activadores** es que son capaces de donar electrones al anillo, con lo que estabilizan el carbocatión intermedio. Por lo general, se comportan como activadores los grupos que poseen un par de electrones no compartido en el átomo enlazado al anillo; aquellos con un átomo unido que participa en un enlace p rico en electrones o aquellos con un par de electrones no compartido, los cuales son donantes de electrones por inducción como los grupos alquilo. Los **desactivadores**, por su parte, atraen electrones del anillo con lo cual desactivan el carbocatión intermedio. Se caracterizan porque el átomo unido al anillo no tiene ningún par de electrones no compartido y posee una ligera carga positiva.

De esta manera un sustituyente donador de electrones es más reactivo hacia los electrófilos, mientras que un anillo aromático con sustituyentes que atraen electrones es menos reactivo hacia los electrófilos (figura 27).

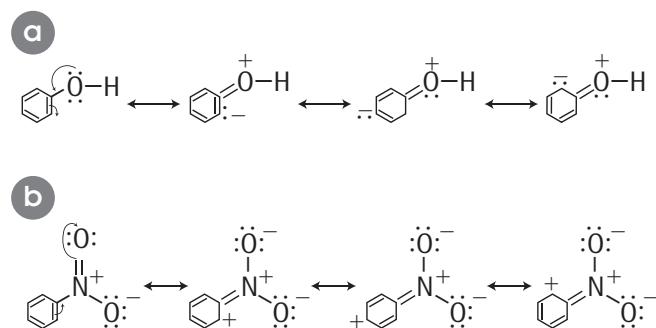


Figura 27. El esquema muestra: a) el efecto activador del grupo —OH y b) el efecto desactivador del grupo NO_2 .



Orientadores

Además de afectar la reactividad de un anillo aromático, un sustituyente puede también influir en la posición de una segunda sustitución electrófila. La introducción de un átomo o grupo de átomos en un anillo benzenico sin sustituir no representa ningún problema en relación con su posición de entrada. Recordemos que los seis átomos de hidrógeno son equivalentes; únicamente se puede obtener un sólo compuesto mono-sustituido. Sin embargo, cuando sobre el anillo se introduce un segundo sustituyente se presenta la posibilidad de obtener más de un isómero con lo cual adquiere importancia la posición de entrada de este sustituyente.

La presencia de agentes orientadores determina una tendencia a la formación de uno de los isómeros posible. Sin embargo, en la reacción de sustitución se producen mezclas de otros isómeros en pequeñas cantidades.

- **Orientadores orto-para:** la potenciación de la posición orto y para para recibir sustituyentes se puede alcanzar por dos vías: activación del anillo y especialmente de estas posiciones, o por desactivación relativa de las posiciones, en donde las orto-para son las menos afectadas. Entre los activadores orientadores orto-para tenemos: $-\text{NH}_2$ (amino), $-\text{OH}$ (hidroxilo), $-\text{CH}_3$ (grupos alquilo). Dentro de los desactivadores orientadores orto-para, los más importantes son los halógenos, que se comportan como desactivadores debido a su alta electronegatividad.
- **Orientadores meta:** llamados también **metadirigentes**, estos grupos desactivan diferencialmente el anillo, favoreciendo la posición meta. Así, la sustitución sobre el anillo ocurre en la posición menos desactivada. Los grupos $-\text{NO}_2$ (nitro), $-\text{COOH}$ (carboxilo), CHO (carbonilo), SO_3H (sulfonilo), CN (ciano), CO_2CH_3 (éster), son algunos ejemplos de agentes metadirigentes (figura 13).

Activadores orientadores orto-para	Desactivadores orientadores orto-para	Desactivadores orientadores meta
$-\ddot{\text{O}}:-$	$-\ddot{\text{F}}:$	$-\text{NO}_2$
$-\ddot{\text{O}}:\text{H}$	$-\ddot{\text{Cl}}:$	$-\text{CCl}_3$
$-\ddot{\text{N}}\text{H}_2$	$-\ddot{\text{Br}}:$	$-\text{C}\equiv\text{N}$
$\begin{array}{c} \ddot{\text{N}}-\text{R} \\ \\ \text{R}' \end{array}$	$-\ddot{\text{I}}:$	$-\text{SO}_3\text{H}$
		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$
$-\text{CH}_3$		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{OR} \end{array}$
$\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$		$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{H} \end{array}$

Figura 28. El cuadro muestra los distintos grupos de orientadores sobre el anillo aromático.

Anillos aromáticos disustituídos

La posición que puede ocupar un tercer sustituyente sobre el anillo aromático depende, igualmente, del tipo y posiciones de sustituyentes preexistentes, así como del tipo de interacciones que se presenten entre ellos. Por ejemplo, si los efectos producidos por los grupos ya presentes en el anillo se refuerzan entre sí, el tercer sustituyente se acomodará siguiendo la misma orientación de los ya presentes. Así, si en el anillo están presentes los grupos OH y Cl por ejemplo (ambos orientadores orto-para), el tercer sustituyente se insertará en alguna de esas posiciones.

Por otro lado, si los sustituyentes iniciales son orientadores orto-para y meta, respectivamente, sus efectos no se refuerzan, sino que se observa dominancia del efecto orto-paradirigente.

Ahora, si en el anillo hay un grupo activador fuerte y otro activador débil, el efecto del primero es dominante y controla el ingreso del tercer grupo.

Finalmente, cuando ocurren simultáneamente dos grupos activadores o desactivadores, ya sea débiles o fuertes, no hay predominio de ninguno de los dos y entonces se obtienen cantidades semejantes de los dos isómeros.



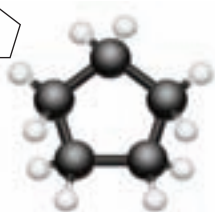
Interpreta

- 1 El fenómeno de hibridación se presenta en los enlaces del benceno y está muy relacionado con sus formas de resonancia. Describe la relación que se establece entre la hibridación y las formas de resonancia del benceno y la de su híbrido.
- 2 Entre los hidrocarburos aromáticos, los más comunes son el benceno, el naftaleno, el antraceno y el fenantreno. Dibuja sus estructuras e indica cómo se numeran los carbonos para asignar el nombre a sus derivados.
- 3 Para nombrar un benceno disustituido es importante identificar los grupos sustituyentes y sus posiciones en la estructura. Representa los isómeros de posición del dimetilbenceno (xileno) y explica su nomenclatura frente a la posición de sus grupos sustituyentes.
- 4 Con base en las posiciones de los sustituyentes presentes, dibuja la estructura para los siguientes compuestos:
 - a) o-bromoclorobenceno
 - b) ácido m-nitrobenzoico
 - c) p-clorotolueno
 - d) 2,4,6-trinitrofenol
 - e) p-clorohidroxibenceno

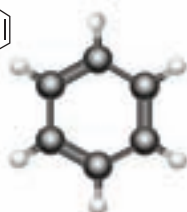


Argumenta

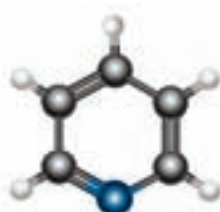
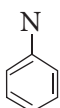
- 5 Observa las siguientes estructuras:



Ciclopentano



Benceno



Piridina

Responde:

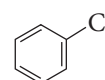
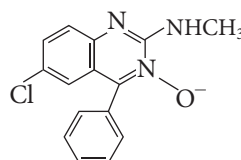
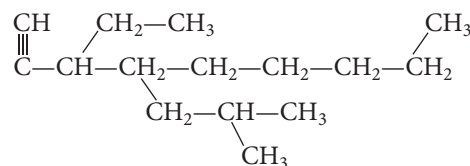
- a) ¿Por qué la piridina se clasifica como un aromático heterocíclico?
 - b) ¿Qué diferencias existen entre las propiedades físicas y químicas del ciclopentano y el benceno?
 - c) ¿Por qué el benceno presenta el fenómeno de resonancia?
- 6 El tolueno y los xilenos se emplean en grandes cantidades en la producción de alto octanaje, por ser mejores combustibles que los alcanos y alquenos, ya que no dejan residuos al arder.
 - a) Plantea las reacciones para la obtención de estos compuestos a partir del metano.
 - b) Indica qué productos se forman en la combustión de estos compuestos.
 - c) Explica qué otras ventajas presentan estos compuestos.
 - 7 El petróleo es la principal fuente de energía en la mayoría de países, motivo por el cual es importante conocer el grado de combustión que presentan sus componentes. Clasifica las siguientes sustancias en orden creciente de combustión y menciona algunas de sus aplicaciones en la industria y en el hogar: propano, butano, gasolina, queroseno, gasóleo, aceites, lubricantes y asfalto. Responde:

¿Cuál de estas sustancias presenta mayor grado de combustión?



Propone

- 8 Observa las estructuras de los siguientes hidrocarburos. Indica:



- a) ¿Cómo las clasificarías?
- b) ¿Qué nombre recibirían si a cada estructura le adicionas dos átomos de carbono?



Actividades



Verifica conceptos

- 1 **Determina la falsedad o la certeza de los siguientes enunciados, escribiendo una F o una C sobre la línea respectivamente.**

- ☐ En estado puro, los alcanos son incoloros y presentan una densidad menor que la del agua.
- ☐ Los primeros cuatro hidrocarburos: metano, etano, propano y butano son líquidos.
- ☐ Los alquenos se caracterizan por presentar dobles enlaces e hibridación sp.
- ☐ El enlace pi de los dobles enlaces es de alta energía y muy estable.
- ☐ Los alquinos se caracterizan por presentar enlaces triples, en los que se presentan dos enlaces pi y un enlace sigma.
- ☐ Las reacciones químicas que presentan los hidrocarburos insaturados son de adición electrofílica.
- ☐ Los polímeros son moléculas pequeñas formadas por monómeros.

- 2 **Lee la información contenida en el siguiente cuadro y contesta las preguntas:**

Clase de hidrocarburo	Estructura grupo funcional	Fórmula general
Alcanos	$\begin{array}{c} \quad \\ -C-C- \\ \quad \end{array}$	C_nH_{2n+2}
Alquenos	$\begin{array}{c} \quad \\ C=C \\ \quad \end{array}$	C_nH_{2n}
Alquinos	$-C \equiv C-$	C_nH_{2n-2}

- a) ¿Cuál grupo de hidrocarburos presenta mayor reactividad química?
- b) ¿Por qué los enlaces pi característicos de los alquenos y los alquinos son de baja energía?
- c) ¿Qué tipo de reacción es típica de los alcanos?
- d) ¿Qué clases de reacciones son características de los hidrocarburos insaturados?
- e) ¿Cuáles son las fórmulas moleculares del pentacotano, undecino y trideceno?



Analiza y resuelve

- 3 **El petróleo crudo es una mezcla en la cual sus componentes se caracterizan por presentar pesos moleculares y puntos de ebullición diferentes entre sí. Algunos derivados del petróleo son:**



Gasolina



Queroseno



Asfalto



Vaselina

Explica:

- a) ¿Cuál de estas sustancias presenta mayor punto de ebullición?
- b) ¿Cuál es la composición química de los derivados del petróleo?
- c) ¿Cuál de estos derivados del petróleo presenta el menor punto de ebullición?
- d) ¿Para qué se utilizan estas sustancias?
- e) ¿Qué otros derivados del petróleo conoces?

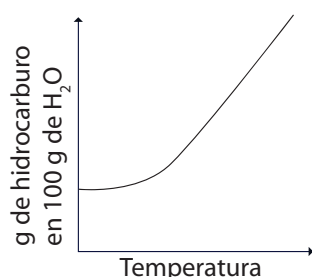
- 4 **Aunque los alquinos no son compuestos muy comunes en la naturaleza, los anticonceptivos orales, compuestos biológicos importantes del siglo XX, presentan enlaces triples. La progesterona y el estradiol forman parte del sistema bioquímico natural de la mujer, quien los produce cuando está embarazada para evitar la ovulación. La industria farmacéutica sintetiza moléculas parecidas a las hormonas mencionadas, pero con un triple enlace, el cual les imparte mayor actividad oral y permite su uso en dosis más bajas. Un ejemplo de estas hormonas es el etinilestradiol y el estradiol. Responde:**

- a) ¿En qué se diferencian estas estructuras?
- b) ¿Qué función cumplen en el organismo los compuestos mencionados?
- c) ¿A qué grupo de compuestos orgánicos pertenecen estas estructuras?



Problemas básicos

- 5 Los hidrocarburos presentan varias clases de reacciones dependiendo del enlace que presenten. Establece las ecuaciones químicas para obtener los siguientes compuestos:
 - a) Butino
 - b) 1,2-clorociclohexano
 - c) Nitrobenceno
 - d) Ciclopropano
 - e) 1,2,3-tribromopentano
- 6 Los componentes obtenidos a partir de la destilación del petróleo crudo presentan un determinado número de átomos de carbono en sus estructuras. ¿Cómo influye esta característica en su comportamiento químico?
- 7 La solubilidad de una sustancia en agua puede ser afectada por el aumento de la temperatura. Explica si los hidrocarburos insolubles en agua pueden presentar un comportamiento similar al que se observa en la siguiente gráfica:



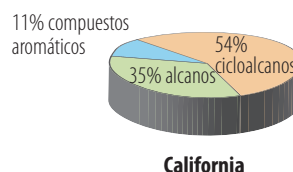
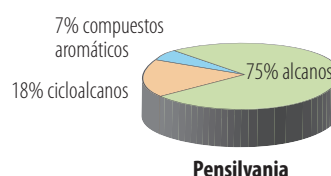
- 8 Las siguientes estructuras son ejemplos de hidrocarburos insaturados. Establece el nombre, la clase de enlace y el tipo de reacciones que presentan:

Estructura	Clase de enlace	Nombre	Tipo de reacción
$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$			
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{C}-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}_3$			
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{C}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_3-\text{CH}_3$			
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}_3$			



Problemas de profundización

- 9 La composición química del petróleo varía considerablemente con respecto a la zona donde se encuentra el pozo. Por ejemplo, en Pensilvania y California:



Según esto, la mayor parte del petróleo consta de casi la misma cantidad de aromáticos (7 a 11%), mientras que los porcentajes de los alcanos y cicloalcanos varían notablemente.

- a) Explica qué técnica utilizarías en el laboratorio de ciencias para separar estos componentes en una muestra de petróleo.
 - b) Consulta la técnica empleada en la industria para obtener los derivados del petróleo y realiza un listado en el que menciones el orden en el que se obtienen.
 - c) Responde: ¿Por qué el porcentaje de alcanos y cicloalcanos varía en las muestras de petróleo?
- 10 El motor diésel fue inventado por Rudolf Diesel (1858-1913). En esta clase de motores se desperdicia menos energía en forma de calor que en un motor de gasolina. Sin embargo, presenta algunas desventajas, como la necesidad de efectuar un mantenimiento más periódico que en los motores de gasolina, pues de no hacerlo así, producirían nubes de hollín que saldrían por el tubo de escape. Explica:
 - a) ¿Por qué los motores diésel desperdician menos combustible?
 - b) ¿Cómo funciona este tipo de motor? Explica tu respuesta utilizando un modelo.
 - c) Si todos los medios de transporte tuvieran motores diésel, ¿disminuiría la contaminación atmosférica?

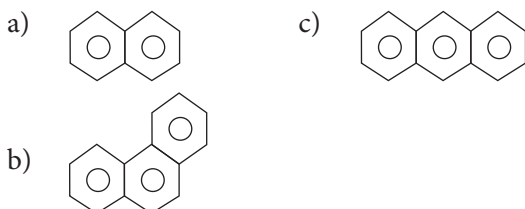


Actividades

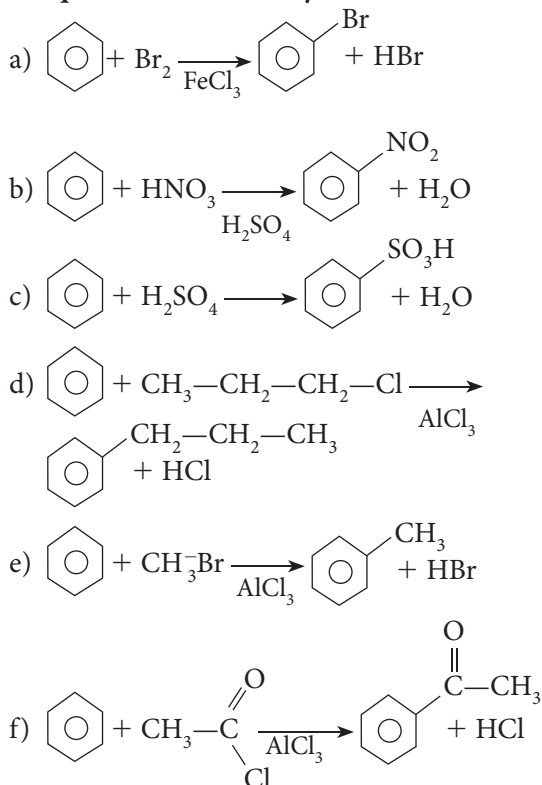


Verifica conceptos

- 1 Los anillos de benceno se pueden unir para formar compuestos aromáticos polinucleares, los cuales se conocen más por sus nombres comunes que por los correspondientes nombres IUPAC. Consulta los nombres de los siguientes hidrocarburos aromáticos:



- 2 Clasifica las siguientes reacciones químicas de los hidrocarburos aromáticos según sean de: halogenación, nitración, sulfonación, acilación o alquilación de Friedel y Crafts:



- 3 Los sustituyentes pueden clasificarse como activadores o desactivadores del anillo aromático, según potencien o inhiban la reactividad del benceno no sustituido. Clasifica los siguientes sustituyentes como activadores o desactivadores orto, meta o para:

Sustituyentes	Clase de activador o de desactivador
OH ⁻	
Cl ⁻	
—CHO	
—SO ₃ H	
—CH ₃	
—NH ₂	
Br ⁻	



Analiza y resuelve

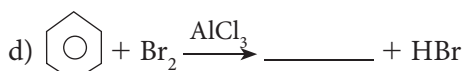
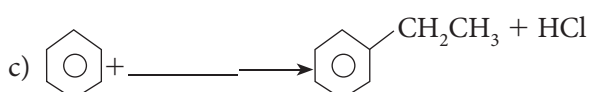
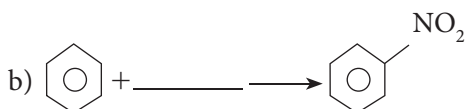
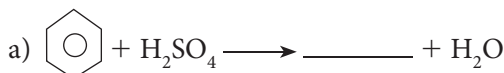
- 4 La gasolina es, principalmente, una mezcla de hidrocarburos aromáticos y no aromáticos formados por cadenas de cinco a diez átomos de carbono. Es importante que estos compuestos se vaporicen y se mezclen con el oxígeno en el carburador y luego sufran una combustión suave y controlada para aprovechar al máximo la energía liberada. Consulta los índices de octanaje de los siguientes hidrocarburos y responde:

- a) ¿Qué significa índice de octanaje?
- b) ¿A qué factores se pueden atribuir las diferencias en los índices de octanaje de estos hidrocarburos?
- c) ¿Cómo actúan los aditivos en la gasolina para aumentar el índice de octanaje?
- 5 La estructura de los compuestos aromáticos confiere una gran estabilidad química, por esta razón son muy resistentes al cambio químico. Explica por qué este tipo de compuestos no presenta reacciones de adición.



Problemas básicos

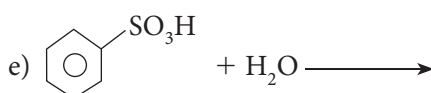
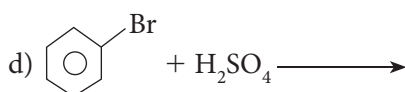
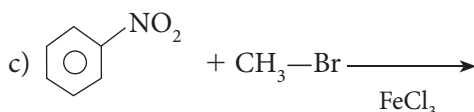
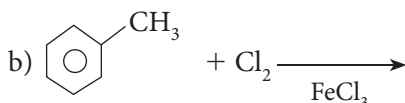
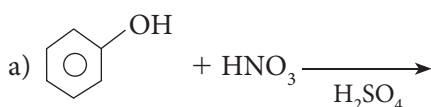
- 6 Las reacciones de sustitución son muy frecuentes en los hidrocarburos aromáticos, es por ello que estos compuestos presentan nitración, halogenación, sulfonación y alquilación. Completa las siguientes ecuaciones químicas e indica el tipo de sustitución realizada.



- 7 Los grupos presentes en el anillo bencenoico dirigen los electrófilos que se acercan, ya sea a las posiciones orto y para o a la posición meta. Con base en ello, determina las estructuras de los productos obtenidos en:

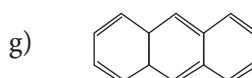
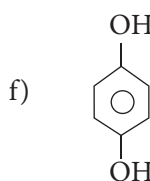
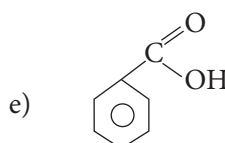
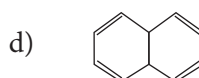
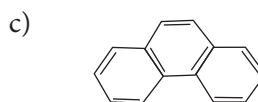
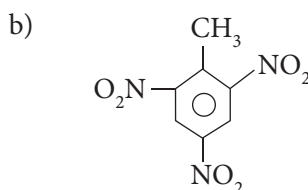
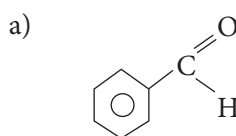
- La nitración del ácido p-bromobenzenosulfónico
- La sulfonación del tolueno
- La bromación del ácido benzoico
- La nitración del tolueno
- La cloración del hidroxibenceno

- 8 Completa las siguientes reacciones:



- 9 Relaciona las siguientes columnas escribiendo la letra correspondiente:

- ☐ Fenantreno
- ☐ Naftaleno
- ☐ 2,4,6-Trinitrotolueno
- ☐ Para-dihidroxibenceno
- ☐ Antraceno
- ☐ Benzaldehído
- ☐ Ácido benzoico



Problemas de profundización

- 10 Estudios realizados demuestran que el consumo de pegante Bóxer como sustancia psicoactiva se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Investiga los componentes de esta sustancia, explica cuál de ellos produce los efectos de adicción y menciona los síntomas que presentan las personas con este tipo de adicción.

Petroquímica

motor de la sociedad moderna

“El verdadero progreso es el que pone la tecnología al alcance de todos”.

Henry Ford

La petroquímica es un sector económico muy poderoso en la sociedad moderna debido a que es una fuente de infinidad de materias primas empleadas por múltiples industrias. A tu alrededor existen varios productos cuyas materias primas provienen de la petroquímica: los plásticos empleados en la fabricación de tu calculadora, las fibras con las cuales está confeccionada tu ropa, los colorantes utilizados en la fabricación de tus esferos y marcadores y hasta el desodorante que usas todos los días.

La petroquímica se encarga de transformar los derivados primarios del petróleo en compuestos químicos útiles para la industria. Sin la petroquímica las aplicaciones del petróleo serían limitadas. Aunque el petróleo es una mezcla rica en hidrocarburos, estos químicamente son poco reactivos. Sin embargo, gracias a la petroquímica los hidrocarburos se transforman en moléculas orgánicas con grupos funcionales como: alcoholes, ácidos carboxílicos, halogenuros de alquilo y arilo, fenoles, ésteres, amidas, anhídridos y aminas. Estos compuestos ya procesados sirven como materia prima para sintetizar toda la gama de compuestos petroquímicos utilizados por la sociedad, entre los cuales tenemos:

- **Colorantes:** las industrias de colorantes sintéticos utiliza los derivados petroquímicos para la fabricación de materias primas usadas en la preparación de tintes, pigmentos, pinturas y colorantes para alimentos.
- **Pegantes:** los pegantes son esencialmente polímeros que se adhieren y fijan entre las superficies. Tanto los polímeros como los solventes empleados en la fabricación de pegantes provienen de la industria petroquímica.



▲ Diversos productos de uso cotidiano son fabricados a partir de materias primas derivadas de la industria petroquímica.



▲ Las plantas petroquímicas producen toneladas de materias primas empleadas por múltiples industrias.

- **Plásticos:** la industria petroquímica produce monómeros, que son la materia prima esencial para la fabricación de plásticos, como el polietileno, el poliestireno, los poliuretanos, los poliésteres, entre otros. Por ejemplo, en algunas industrias petroquímicas se transforma el etileno extraído de la refinación del petróleo en gránulos de polietileno, que son empleados en la fabricación de bolsas desechables.
- **Medicamentos:** las industrias dedicadas a la química fina o química de síntesis de principios activos para medicamentos, sintetizan fármacos a partir de compuestos como el fenol, el ácido benzoico, el ácido tereftálico, el etilenglicol, entre otros. Quizás el mejor ejemplo es la síntesis del ácido acetilsalicílico, principio activo de la aspirina a partir del fenol.
- **Explosivos:** la mayoría de los explosivos se obtienen de derivados de la industria petroquímica, por ejemplo, el TNT o trinitrotolueno se sintetiza a partir de la nitración del tolueno.

La humanidad ha desarrollado una dependencia extrema de los derivados del petróleo, situación que ha ocasionado problemas de tipo mundial debido al agotamiento de los recursos petroleros.

Esta realidad ha motivado a científicos e industriales de todo el mundo a buscar opciones que permitan satisfacer las necesidades de derivados del petróleo a partir de fuentes alternativas. Algunos de los desarrollos más interesantes y prometedores son:

- **Petróleos vegetales:** existen algunas especies de plantas tropicales ricas en aceites que pueden ser transformados en hidrocarburos. Esto permitiría que la industria petroquímica se convirtiera en una industria basada en recursos renovables y sostenibles. Un ejemplo actual de la utilización de petróleos vegetales es el biodiesel que se utiliza como combustible para motores.
- **Fabricación de petróleo sintético:** un grupo de investigadores en Estados Unidos desarrolló un proceso denominado depolimerización termal, que en esencia transforma cualquier residuo orgánico en petróleo. A través de este proceso es posible transformar los compuestos orgánicos presentes en las basuras, como restos vegetales y animales, en petróleo, al someterlos a altas presiones y temperaturas en presencia de agua. En la actualidad se está iniciando una planta piloto que produce petróleo a partir de restos de vísceras de pollos y otros residuos orgánicos.

Las alternativas para remplazar el petróleo como fuente de materias primas petroquímicas aún están en fase de investigación y desarrollo, por ello, hasta el momento lo mejor que puede hacer el ser humano es utilizar de forma racional y controlada los recursos naturales como el petróleo.

Reflexiono sobre lo leído...

- ¿Qué es la petroquímica?
- ¿Por qué la petroquímica es un sector económico tan poderoso?
- ¿Qué es la depolimerización termal?

Fortalezco mis valores...

- ¿Por qué es importante cuidar los recursos naturales?
- ¿Cómo afecta la petroquímica la economía de tu país?
- ¿Qué consecuencias negativas tienen los derrames de petróleo sobre el medio ambiente?



¿Cómo se obtienen los derivados del petróleo?

El petróleo es una de las principales fuentes de los hidrocarburos que empleamos en la vida cotidiana como gas, gasolina, aceites lubricantes, combustibles, etc. Estos subproductos se pueden extraer del petróleo crudo por el procedimiento de destilación.

En esta práctica vamos a extraer algunos derivados del petróleo.

Conocimientos previos

Composición del petróleo.

Reactivos

- Petróleo crudo

Materiales

- 2 tapones de caucho
- 1 refrigerante
- 2 mangueras
- 1 termómetro
- 1 aro metálico
- Perlas de vidrio
- 3 vasos de precipitados
- 1 balón con desprendimiento lateral
- 1 soporte universal
- 1 pinza con nuez
- 1 trípode
- 1 malla de asbesto
- 1 mechero



Experimento 1

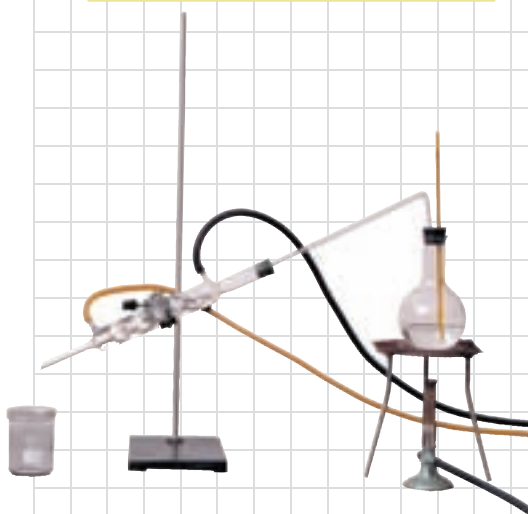
Procedimiento

1. Monta el equipo de destilación, teniendo cuidado de no dejar escapes en las uniones.
2. Vierte 80 mL de petróleo crudo en el balón y calienta suavemente, hasta que la temperatura se estabilice. Recoge este primer destilado en un vaso de precipitados. Cuando cambie el valor de la temperatura, en otro vaso repite la operación anterior. Anota las temperaturas.
3. En otro balón, limpio y seco, deposita el primer destilado obtenido, con tres perlas de vidrio y repite la destilación. Anota las temperaturas a las que se obtienen los subproductos.
4. Registra los resultados que obtengas, en la siguiente tabla:

Productos que se obtienen	Temperatura °C

Análisis de resultados

1. ¿Qué clase de subproductos has obtenido, teniendo en cuenta las temperaturas de destilación?
2. ¿Por qué es necesario aplicar una segunda destilación?
3. ¿Qué características físicas presentan los destilados obtenidos?
4. ¿Por qué se considera al petróleo, una mezcla de hidrocarburos?
5. ¿Qué clase de recurso natural es el petróleo?





¿Cómo determinar la presencia de una insaturación activa en una molécula orgánica?

Los hidrocarburos insaturados presentan dobles o triples enlaces, formados por enlaces sigma y pi. El enlace pi es relativamente fácil de romper, ya que requiere de poca energía para lograrlo. En esta práctica reconocerás la presencia de insaturaciones en algunos compuestos orgánicos.

Conocimientos previos

Nomenclatura de hidrocarburos, propiedades físicas y químicas de los hidrocarburos insaturados.

Reactivos

- Aceite de oliva
- Penteno
- Hexeno
- Aceite mineral
- Margarina
- Aceite de girasol
- Reactivo de Bayer (recién preparado)

Materiales

- 1 gradilla
- 6 tubos de ensayo
- 6 pipetas de 10 mL
- 1 espátula



Experimento 1

Procedimiento

1. En un tubo de ensayo con tapa adiciona 1 mL o unos miligramos de benceno.
2. Agrega 2 mL del reactivo de Bayer recién preparado (solución de permanganato de potasio al 2%).
3. Tapa el tubo de ensayo y agita vigorosamente. Deja en reposo por 15 minutos. Si desaparece el color púrpura de la solución de permanganato y aparece un precipitado café-rojizo de dióxido de manganeso, es prueba positiva de la presencia de insaturaciones activas en la molécula (ver figura).
4. Repite los pasos 1, 2 y 3 con el aceite de oliva, el aceite mineral, el aceite de girasol y la mantequilla. Registra tus observaciones en la siguiente tabla.

Compuesto	Cambios ante el reactivo de Bayer
Penteno	
Hexeno	
Aceite de oliva	
Aceite mineral	
Aceite de girasol	
Mantequilla	
Análisis de resultados	

Análisis de resultados

1. ¿Qué compuestos presentan insaturaciones? Explica con sus estructuras.
2. ¿Qué función cumple el reactivo de Bayer en la identificación de insaturaciones?
3. ¿Qué aplicaciones tendrá el análisis de insaturación activa en compuestos orgánicos?
4. ¿Cómo se clasifican los lípidos según el grado de saturación o insaturación?



¿Cómo reconocer las propiedades físicas de los hidrocarburos aromáticos?

Durante las primeras décadas del siglo XIX, la grasa de la ballena era la principal fuente de aceite, usado, entre otras cosas, como combustible para lámparas. En 1825, Michael Faraday, tratando de determinar la composición de tan esencial producto, calentó aceite de ballena y obtuvo un líquido incoloro, cuya fórmula empírica era CH . Esto no concordaba con la supuesta tetravalencia del carbono, por lo que muchos químicos se dedicaron a tratar de dilucidar la estructura química de tan singular compuesto, conocido desde entonces como benceno. A continuación, se muestran algunas de las estructuras propuestas por diferentes químicos para el benceno, y reconocerás algunas propiedades físicas de los hidrocarburos aromáticos.

Conocimientos previos

Propiedades físicas de los hidrocarburos aromáticos.

Reactivos

- Benceno
- Tolueno
- Naftaleno
- Anilina
- Antraceno o fenantreno
- Éter
- Tetracloruro de carbono

Materiales

- 7 tubos de ensayo
- 1 pipeta graduada de 1 mL
- 2 espátulas
- 1 gradilla
- 1 balanza

Experimento 1

Procedimiento

1. Toma cinco tubos de ensayo y coloca: 0,5 mL de benceno en el primero, 0,5 mL de tolueno en el segundo, 0,5 g de anilina en el tercero, 0,5 g de naftaleno en el cuarto y 0,5 g de antraceno o fenantreno en el quinto.
2. Describe las propiedades físicas que observes en cada una de las sustancias. Por ejemplo, estado físico, color, olor, viscosidad, entre otras.
3. Adiciona a cada tubo 1 mL de agua y anota el grado de solubilidad, empleando la siguiente clasificación: soluble, poco soluble e insoluble.
4. Repite el procedimiento anterior, utilizando éter y luego tetracloruro de carbono como solventes.
5. Registra los resultados en la siguiente tabla.

Soluto/ grado de solubilidad	Agua	Éter	Tetracloruro de carbono
Benceno			
Tolueno			
Anilina			
Antraceno			
Fenantreno			

Análisis de resultados

1. ¿En qué solventes se disuelven los hidrocarburos aromáticos?
2. ¿Cuáles son las principales propiedades físicas de los aromáticos?
3. ¿De qué depende la solubilidad de los aromáticos?
4. ¿En qué se diferencian los compuestos aromáticos de los demás hidrocarburos?
5. ¿En qué se diferencian las estructuras de los hidrocarburos aromáticos utilizados en esta práctica?



¿Cómo identificar las propiedades químicas de los hidrocarburos aromáticos?

Los hidrocarburos aromáticos son compuestos orgánicos de gran importancia química e industrial puesto que son la base de sustancias farmacéuticas, como por ejemplo, la aspirina. En la industria, son básicos para la síntesis de colorantes y, bioquímicamente, son precursores de varias hormonas y vitaminas. A continuación vamos a realizar algunas pruebas para comprobar las propiedades químicas de este grupo de sustancias.

Conocimientos previos

Propiedades químicas de los hidrocarburos aromáticos.

Reactivos

- Benceno
- Tolueno
- Naftaleno
- Anilina
- Antraceno o fenantreno
- Éter
- Tetracloruro de carbono
- Bromo en tetracloruro
- Cloruro de aluminio anhidro
- Cloroformo

Materiales

- 7 tubos de ensayo
- Pipetas
- 2 espátulas
- 1 gradilla
- 1 mechero

Experimento 1

Procedimiento

1. En un tubo de ensayo, vierte 1 mL de solución de bromo en tetracloruro de carbono y agrega 1 mL de benceno. Observa los cambios de coloración del bromo.
2. Coloca en un tubo de ensayo bien seco 0,5 g de cloruro de aluminio anhidro. Calienta con una llama fuerte para sublimarlo sobre las paredes del tubo. Deja enfriar.
3. En otro tubo de ensayo seco, prepara una solución de 0,5 mL de benceno o tolueno en 10 gotas de cloroformo. Con mucha precaución deja correr gota a gota la solución sobre las paredes del tubo que contiene el cloruro de aluminio sublimado. Observa la coloración que aparece inicialmente.
4. Repite el experimento anterior, reemplazando el benceno por el naftaleno y, posteriormente, por antraceno o fenantreno. En cada caso, toma nota de la coloración inicial.



Análisis de resultados

1. ¿Qué tipo de combustión presentan estas tres sustancias?
2. ¿Qué propiedades se evidencian durante el procedimiento realizado?
3. Identifica cada uno de los hidrocarburos utilizados, teniendo en cuenta las siguientes pautas:
La aparición de una coloración rojo intenso significa que el hidrocarburo posee solamente un anillo bencénico, como el benceno o el tolueno. Si la coloración que se percibe es azul oscuro, significa que el hidrocarburo aromático posee dos anillos bencénicos, por ejemplo, el naftaleno. Si el color es verde oscuro puede tratarse del antraceno. Si la prueba se realiza con fenantreno el color será púrpura.
Con el tiempo los colores cambian a varios tonos de café, por lo que es importante consignar los resultados inmediatamente después de producidos. Se obtienen tonos similares cuando se cambia el cloroformo por tetracloruro de carbono.
Es importante aclarar que muchos compuestos aunque sean aromáticos no dan coloración debido a la presencia de sustituyentes desactivantes como: $-\text{Cl}$, $-\text{SO}_3\text{H}$, $-\text{NO}_2$, $-\text{COOH}$, etc.
4. ¿Qué estructuras presentan los compuestos aromáticos que se utilizaron en la práctica?
5. ¿Para qué se utilizan benceno, naftaleno, anilina, tolueno, antraceno y fenantreno?



UNIDAD

4

Funciones oxigenadas

Temas de la unidad

1. Alcoholes, fenoles y éteres
2. Aldehídos y cetonas



? Para pensar...

Hasta ahora hemos estudiado compuestos orgánicos conformados por carbono e hidrógeno. En esta unidad, veremos compuestos cuyos grupos funcionales poseen un tercer elemento, oxígeno, por lo que se conocen como **funciones oxigenadas**.

Se sabe que el oxígeno tiene seis electrones en su último nivel y por lo tanto debe compartir un par para alcanzar una configuración más estable. La manera como el oxígeno comparte los electrones con el carbono y el hidrógeno determina la clase de compuesto formado. Así por ejemplo, si el oxígeno comparte uno de sus electrones con el carbono y el otro con el hidrógeno, se forma un alcohol o un fenol, dependiendo del tipo de radical orgánico unido al grupo funcional. Si cada uno de los electrones desapareados del oxígeno es compartido con un átomo de carbono diferente, entonces se forma un tipo de compuesto denominado éter. Si, por el contrario, comparte los dos electrones con el mismo átomo de carbono, se forma un doble enlace, dando lugar a un aldehído o a una cetona, dependiendo de la posición en la cual esté ubicado el carbono del doble enlace. Por último, los ácidos orgánicos o ácidos carboxílicos se caracterizan por la presencia de un grupo funcional —COOH . El objeto de estudio de la presente unidad serán los alcoholes, los fenoles, los éteres, los aldehídos y las cetonas.

● Para responder...

- ¿Cómo se clasifican y para qué se usan los alcoholes, los fenoles y los éteres?
- ¿Cuál es la importancia biológica de los aldehídos y cetonas?



Figura 1. El alcohol etílico de alta pureza es empleado como solvente en la industria de los perfumes.

1. Alcoholes, fenoles y éteres

Los alcoholes y los fenoles tienen en común la presencia de un grupo hidroxilo. En los primeros, el OH está unido a una cadena alifática, mientras que en los fenoles, se halla como sustituyente de un hidrocarburo aromático. Los éteres poseen una estructura $R-O-R$, que les confiere propiedades particulares, como veremos más adelante.

1.1 Alcoholes

Los alcoholes se caracterizan por la presencia del grupo funcional hidroxilo (OH), unido a un átomo de carbono, que a su vez hace parte de una cadena hidrocarbonada, alifática y saturada. Esto implica que los carbonos de la cadena presentan hibridación sp^3 .

Pueden considerarse como derivados orgánicos del agua, a través de la sustitución de un hidrógeno un grupo alquilo ($R-OH$).

1.1.1 Importancia

Antes de profundizar en el estudio de los alcoholes, vale la pena preguntarse, ¿por qué es importante conocer la química de los alcoholes? De todos los compuestos orgánicos, tal vez los alcoholes son los más conocidos. Así, desde la antigüedad se admitía que las propiedades particulares de las bebidas alcohólicas se relacionaban con la presencia de alcohol etílico o vínico (figura 1).

Los alcoholes tienen gran importancia en biología, puesto que la función alcohol aparece en muchos compuestos relacionados con los sistemas biológicos. Así, por ejemplo, la mayoría de los azúcares, el colesterol, las hormonas y otros esteroides contienen alcohol.

Los alcoholes también tienen muchas aplicaciones industriales y farmacéuticas, como veremos más adelante. A manera de ejemplos, podemos mencionar algunos de los usos de los alcoholes, como aditivos de combustibles, solventes industriales y componentes principales de bebidas alcohólicas, anticongelantes para automóviles y fabricación de barnices (figura 2).

Pero, de la misma manera que resulta importante conocer el comportamiento químico de los alcoholes en razón de los múltiples usos y aplicaciones, también es importante estudiarlos por los efectos nocivos que pueden producir sobre los organismos y la sociedad. El etanol, por ejemplo, puede ser considerado como una droga con efectos depresores del sistema nervioso central. Su ingestión a través de bebidas alcohólicas, provoca una serie de efectos, como sedación, vasodilatación cutánea, taquicardia, disminución en el control de las emociones, pérdida de la coordinación motora y, si la concentración de etanol en la sangre es muy alta, puede producir la muerte por paro cardiorrespiratorio.

1.1.2 Nomenclatura

Como vimos en las primeras unidades, los alcoholes se nombran añadiendo la terminación **-ol** al nombre del alcano correspondiente, es decir, del grupo R al cual esté unido el grupo OH—. A modo de repaso, veamos algunos ejemplos:



Figura 2. De la misma forma que el alcohol etílico tiene innumerables aplicaciones benéficas, su uso también puede causar dolorosas tragedias.

EJERCICIO

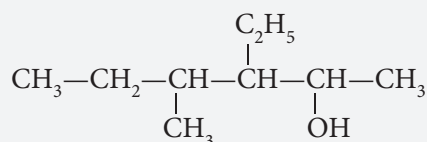
Consulta sobre la influencia que tiene el consumo de bebidas alcohólicas en el aumento de los niveles de colesterol en el organismo humano. ¿Cuáles son las consecuencias de este aumento?



* EJEMPLOS

1. ¿Cómo se nombra un alcohol cuyo radical R presente ramificaciones o sustituyentes de otros grupos?

Tomemos la siguiente molécula:



Para indicar la posición de los sustituyentes y/o ramificaciones de la cadena hidrocarbonada, de-

bemos numerar los carbonos de dicha cadena, comenzando por el extremo más próximo al grupo hidroxilo. Luego, las ramificaciones se nombran en orden alfabético o de complejidad. Así, la molécula en cuestión se denomina: 4-metil,3-etil-2-hexanol.

2. ¿Cuál es el nombre del siguiente compuesto: $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$?

En este caso, se trata de un hidrocarburo de tres carbonos, el propano, por lo que el alcohol se denomina propanol.

1.1.3 Clasificación

La clasificación de los alcoholes se hace teniendo en cuenta dos aspectos:

- **Posición del grupo —OH:** los carbonos que portan el grupo OH se clasifican en primarios, secundarios y terciarios, de acuerdo con el número de carbonos a los que están unidos. Así, un carbono primario está unido a un carbono, uno secundario, a dos carbonos y uno terciario a tres carbonos. De la misma manera, tenemos:

— **Alcoholes primarios:** cuando el —OH está unido a un carbono primario: $\text{R}-\text{CH}_2-\text{OH}$ (figuras 3a1 y 3b1).

— **Alcoholes secundarios:** si el —OH está unido a un carbono secundario: $\text{R}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{R}$, como se muestra en la figura 3a2 y 3b2.

— **Alcoholes terciarios:** en los que el —OH se encuentra unido a un

carbono terciario: $\text{R}-\underset{\text{OH}}{\overset{\text{R}}{\text{C}}}-\text{R}$, como se muestra en la figura 3a3 y 3b3.

- **Número de grupos —OH presentes:** según este parámetro tenemos, alcoholes **monovalentes** o **monoles**, dentro de los cuales están todos los ejemplos mencionados anteriormente y alcoholes **divalentes** o **glicoles** (figura 4), caracterizados por dos grupos —OH:



Por último, cuando la molécula posee tres grupos hidroxilo se tiene un alcohol **trivalente** o **glicerol**:



Es conveniente aclarar que un mismo átomo de carbono no puede tener dos hidroxilos y si llegara a tenerlos, la sustancia perdería inmediatamente una molécula de agua, convirtiéndose así en un aldehído o en una cetona.

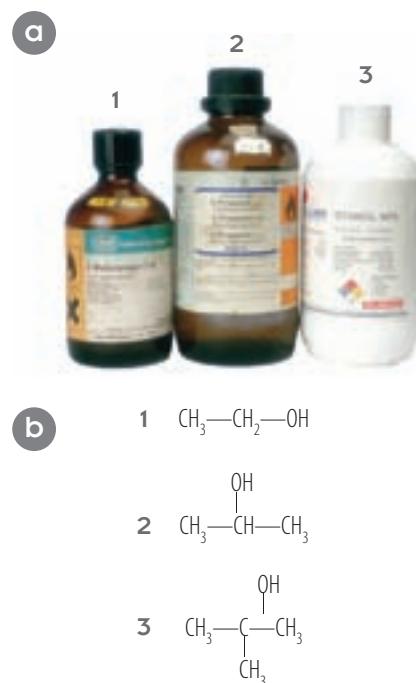


Figura 3. a) Alcohol primario (1), secundario (2) y terciario (3). b) Estructuras correspondientes a los anteriores compuestos.



Figura 4. El glicol y la glicerina son alcoholes polifuncionales muy empleados en la fabricación de productos farmacéuticos y cosméticos.

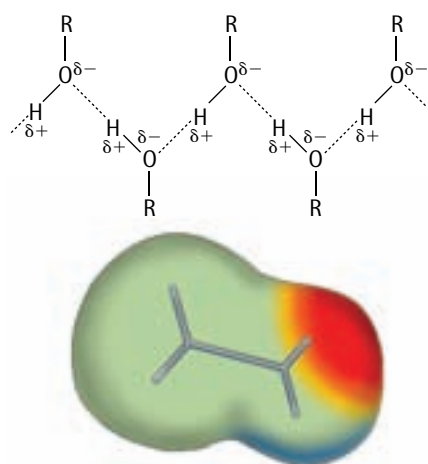


Figura 5. Puentes de hidrógeno entre polos positivos y negativos de diferentes moléculas.

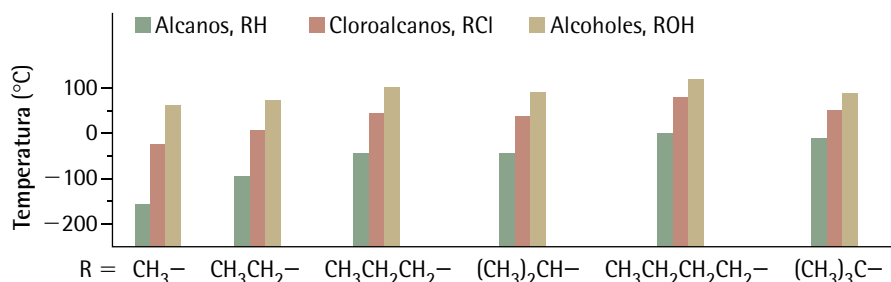


Figura 6. Gráfica comparativa de las temperaturas de ebullición de alcanos, cloroalcanos y alcoholes de peso molecular similar.

1.1.4 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los alcoholes se relacionan con la presencia del grupo OH—, el cual les confiere un comportamiento similar al del agua. Así, las moléculas de los alcoholes también forman puentes de hidrógeno, como resultado de la polaridad que presentan. Esta polaridad es consecuencia de la alta electronegatividad del oxígeno, que por tanto, constituye el polo negativo de la molécula, mientras que el hidrógeno es el polo positivo. Al igual que en el agua, los polos negativos y positivos de diferentes moléculas se atraen, dando lugar a compuestos polares con una alta cohesión (figura 5). Este hecho hace que los alcoholes de cadena corta (entre 1 y 4 carbonos) sean solubles en agua. No obstante, a medida que la cadena va creciendo la solubilidad en agua disminuye y las propiedades físicas de los alcoholes se parecen más a las de los hidrocarburos saturados correspondientes.

Una segunda consecuencia de la polaridad de las moléculas de los alcoholes se relaciona con el punto de ebullición, cuyo valor es mayor que el de los hidrocarburos de peso molecular equivalente (figura 6). Sin embargo, el grado de ramificación de la cadena principal también afecta el valor del punto de ebullición: al aumentar las ramificaciones, desciende el punto de ebullición.

De la misma manera los alcoholes primarios tienen mayores puntos de ebullición que los alcoholes secundarios y los alcoholes terciarios son los que tienen los puntos de ebullición más bajos.

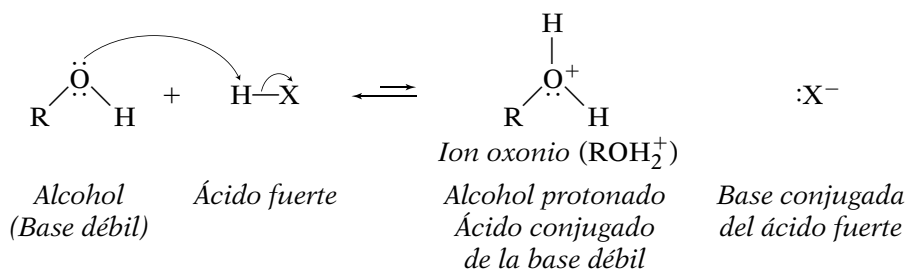
En cuanto a los puntos de fusión, los valores ascienden proporcionalmente con el peso molecular para alcoholes lineales superiores al propanol (figura 7).

Compuesto	Masa molecular	Punto fusión °C
Metanol	32	-97
Etanol	46	-114
n-propanol	60	-126
Isopropanol	60	-89
n-butanol	74	-90
Isobutanol	74	-108
Terbutanol	74	+25
Glicol	62	-17
Glicerol	92	18
Ciclohexanol	100	25

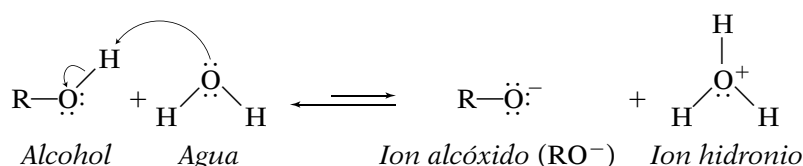
Figura 7. Progresión de puntos de fusión con relación al peso molecular de algunos alcoholes.

1.1.5 Acidez y basicidad

Los alcoholes se comportan como bases o ácidos débiles según el medio en el que se encuentren, a través de procesos de ionización similares a los que experimenta el agua. Como bases débiles, reaccionan de la siguiente manera con ácidos fuertes:



En solución acuosa, se comportan como ácidos débiles, disociándose así:





Debido a las bajas tasas de disociación, los alcoholes, no reaccionan con bases débiles. Por el contrario, son muy reactivos frente a bases fuertes, como los metales alcalinos (Na^+ , K^+ , etc.), los hidruros alcalinos (como el NaH) y los reactivos de Grignard (RMgX , donde R es un radical alquilo y X un halógeno).

1.1.6 Propiedades químicas

Los alcoholes son sustancias muy reactivas químicamente y sus reacciones implican transformaciones sobre el grupo funcional, las cuales pueden ser de dos tipos: aquellas que implican la ruptura del enlace $\text{C}-\text{O}$ y las que implican la ruptura del enlace $\text{O}-\text{H}$.

Reacción con metales alcalinos

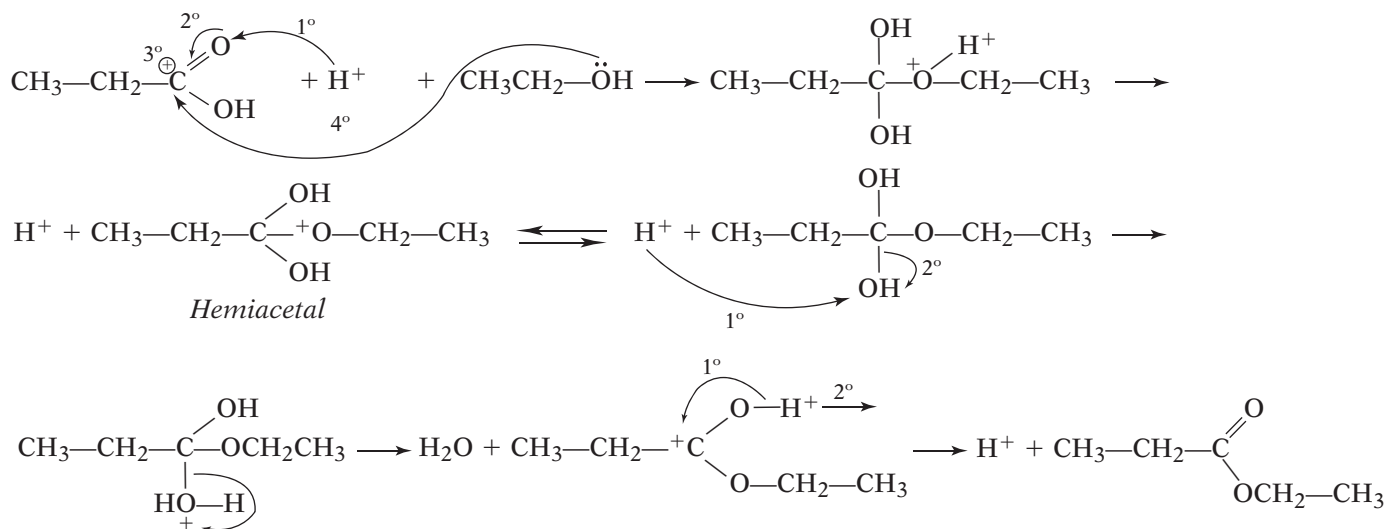
Como ya sabes, los alcoholes se comportan como ácidos débiles en presencia de bases fuertes, como es el caso de los metales alcalinos y algunos alcalinotérreos, que atraen fuertemente a los protones. Los productos de la reacción son hidrógeno y un compuesto denominado **alcóxido metálico**. Los alcóxidos son bases fuertes que por tratamiento con agua dan nuevamente el alcohol original e iones hidróxido. La reacción general es:



Como se puede observar en esta reacción se produce la ruptura del enlace $\text{O}-\text{H}$. Los alcoholes primarios son más propensos a reaccionar de esta manera, mientras que los secundarios y los terciarios son progresivamente menos reactivos.

Esterificación

Cuando un alcohol reacciona con un ácido, generalmente orgánico o carboxílico, se forma agua y un **éster**. Aún cuando en un principio se pensó que esta reacción era análoga a una neutralización ácido-base, análisis posteriores demostraron que el agua formada es resultado de la unión de un grupo OH^- proveniente del ácido carboxílico y un ion H^+ del alcohol. Además, la reacción debe darse en medio ácido, para aumentar la reactividad del ácido orgánico y del alcohol. Veamos el siguiente esquema:



EJERCICIO

1. ¿Por qué la polaridad de las moléculas de los alcoholes hace que sus puntos de ebullición sean más altos?
2. ¿Por qué los puntos de fusión no muestran una progresión tan clara como los puntos de ebullición? (Observa las figuras 6 y 7).

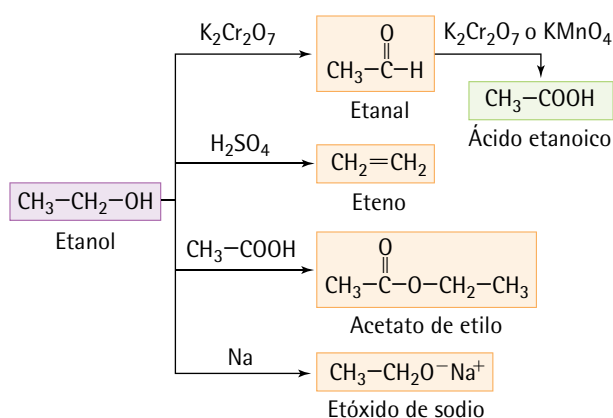
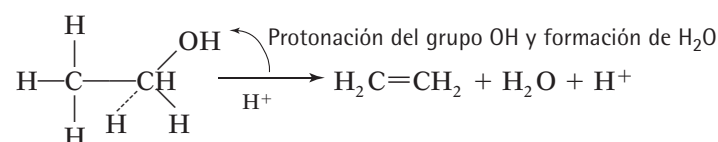


Figura 8. Comportamiento químico de los alcoholes frente a diferentes reactivos, tomando como ejemplo el etanol.



Deshidratación: preparación de alquenos

Esta reacción implica la ruptura del enlace C—O y de un enlace C—H vecino para formar el enlace doble C=C, característico de alquenos, con producción de una molécula de agua. Industrialmente se realiza en medio ácido, a través de un mecanismo como el que se ilustra a continuación, para el etanol con H_2SO_4 y calor para preparar etileno:



Oxidación

Las reacciones que implican oxidación de alcoholes son muy importantes pues son la base para la producción de compuestos carbonílicos (grupo funcional C=O). La reacción opuesta (reducción) produce alcoholes a partir de compuestos carbonílicos.

La oxidación de un alcohol primario produce inicialmente un aldehído y luego un ácido carboxílico. Un alcohol secundario da lugar a una cetona, mientras que uno terciario no se oxida.

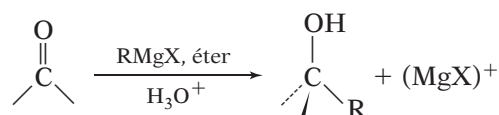
Como agentes oxidantes suele emplearse mezclas como: $\text{KMnO}_4/\text{NaOH}$ o $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{H}_2\text{SO}_4$ (figura 8).

1.1.7 Obtención

En el esquema de la figura 9 se resumen los diferentes medios para preparar alcoholes a partir de otros grupos funcionales, especialmente aquellos que poseen un grupo carbonilo (ácidos carboxílicos, ésteres, aldehídos y cetonas). Observa que todas las reacciones son reversibles por lo que pueden verse como procesos inversos a los anotados en la sección anterior. Es el caso por ejemplo de la hidratación de alquenos.

Es bueno anotar también que los procesos de óxido-reducción en compuestos orgánicos involucran pérdida o ganancia de átomos de hidrógeno. En la reducción de compuestos carbonílicos, el LiAlH_4 y NaBH_4 actúan como agentes reductores, es decir, como fuentes de hidrógeno.

Los reactivos de Grignard, cuya fórmula general es RMgX , se obtienen a partir de la reacción entre un halogenuro de alquilo o de arilo —aromático— (R-X) y magnesio. En términos generales actúan como agentes reductores, según la reacción general:



Como se observa, el grupo R del reactivo de Grignard se integra a la molécula de alcohol producida, mientras que la fracción $(\text{MgX})^+$ es liberada.

EJERCICIO

Escribe las ecuaciones químicas necesarias para realizar las siguientes conversiones:

- Propanona a 2-propanol
- Ácido butanoico a n-butanol

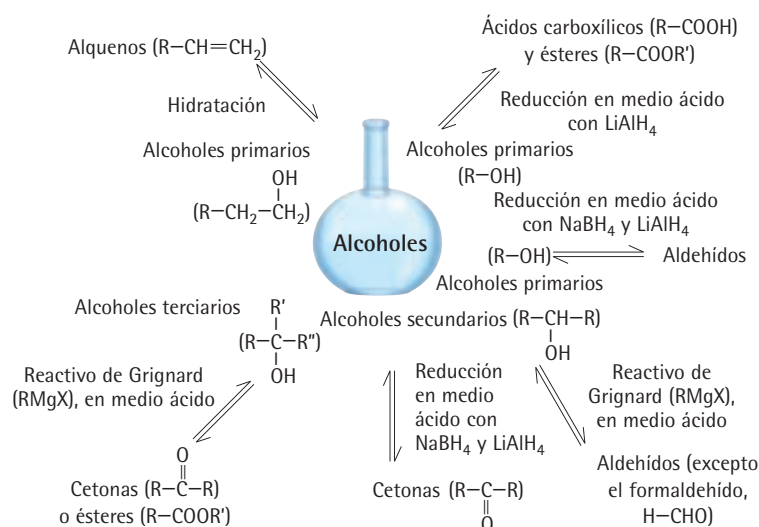
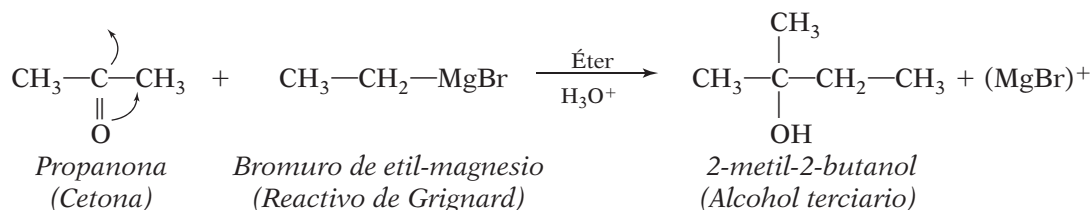
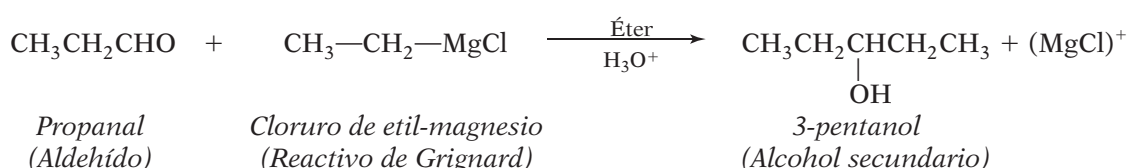
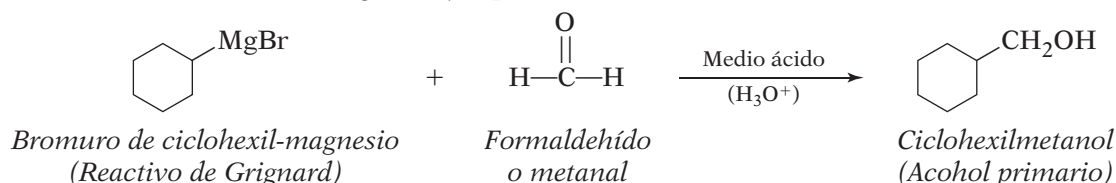


Figura 9. Resumen esquemático de las diferentes formas de obtener alcoholes a partir de otros grupos funcionales.



Esto explica por qué se forman alcoholes secundarios a partir de aldehídos con al menos un átomo de carbono unido al grupo carbonilo, mientras que el formaldehído ($\text{H}-\text{CHO}$) genera un alcohol primario, cuyo radical R proviene

del reactivo de Grignard. De igual manera, las cetonas ($\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}$) y los ésteres ($\text{R}-\text{COOR}'$), al recibir otro grupo R proveniente del reactivo, dan lugar a alcoholes terciarios. Veamos algunos ejemplos concretos:

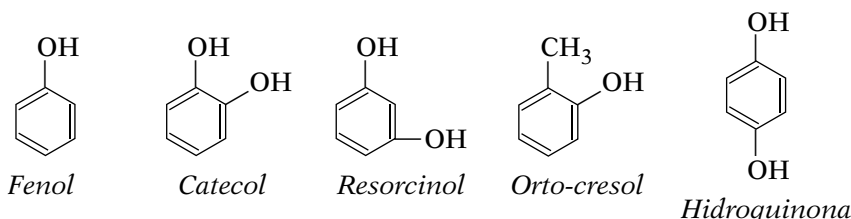


1.2 Fenoles

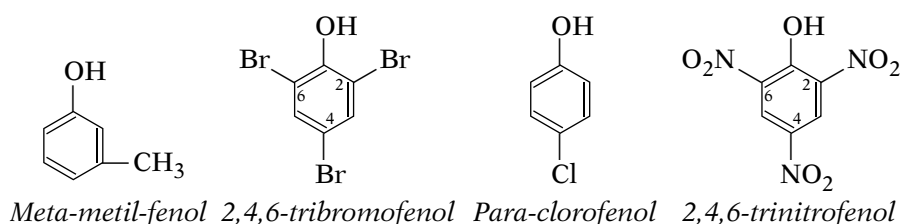
Los compuestos que tienen un grupo hidroxilo unido directamente a un anillo aromático se denominan **fenoles**. Abundan en la naturaleza y se emplean como intermediarios en la síntesis industrial de adhesivos y antisépticos.

1.2.1 Nomenclatura

Gran parte de las sustancias fenólicas se conocen más por sus nombres comunes, que por la denominación oficial de la IUPAC. Por ejemplo:



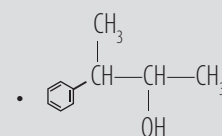
La nomenclatura oficial se basa en la ubicación relativa de los diferentes sustituyentes del anillo aromático, cuyo radical recibe el nombre de **fenil**:



EJERCICIO

Escribe la fórmula o el nombre según corresponda:

- Paracresol o para-hidroxitolueno.



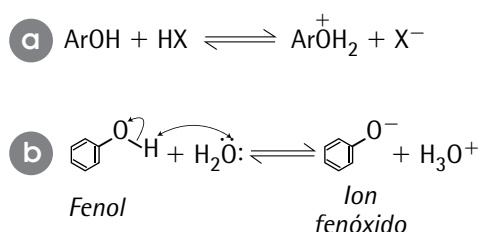


Figura 10. Disociación básica (a) y ácida (b) de los fenoles.

1.2.2 Propiedades físicas

Las moléculas de los fenoles, al igual que aquellas de los alcoholes forman puentes de hidrógeno entre sí, por lo que también presentan temperaturas de ebullición mayores que las de los alcanos equivalentes.

La polaridad de los fenoles se refleja igualmente en su solubilidad en agua. Así, los fenoles de bajo peso molecular son solubles en agua.

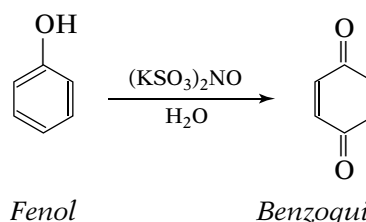
Si bien los fenoles se comportan como ácidos o bases débiles, según el medio (figura 10), son mucho más ácidos que los alcoholes. Esto se debe a que el oxígeno del grupo OH, está unido al anillo aromático más fuertemente, por lo que el ion fenóxido es más estable que el alcóxido y que la forma fenólica no disociada. En la figura 11 se puede observar la distribución relativa de las cargas negativas en un ion alcóxido y en un ion fenóxido. Nota que la carga negativa del oxígeno se halla deslocalizada en el ion fenóxido.

Por otra parte, dependiendo de su estructura, los fenoles sustituidos pueden ser más o menos ácidos que el fenol. En forma general se puede decir que, los fenoles con un sustituyente que atraiga electrones es más ácido que el fenol, puesto que estabilizan al ion fenóxido al deslocalizar la carga negativa, pero los fenoles que presenten sustituyentes donadores de electrones son menos ácidos que el fenol, puesto que desestabilizan el ion fenóxido al concentrar la carga.

1.2.3 Propiedades químicas

Recordemos que el grupo OH es un fuerte activador y orientador orto-para del anillo aromático, en las reacciones de sustitución electrófila. Como consecuencia, los fenoles son sustratos muy reactivos en reacciones electrófilas como la halogenación, la nitración y la sulfonación.

La segunda reacción más importante de los fenoles es la oxidación, que da como resultado un tipo de compuestos conocidos como **quinonas**:



Las quinonas son compuestos especialmente susceptibles para intervenir en procesos de óxido-reducción. Una de las aplicaciones de esta propiedad se da a nivel celular, donde sustancias llamadas **ubiquinonas** actúan como agentes oxidantes bioquímicos en la transferencia de electrones asociada con la producción de energía.

1.2.4 Obtención

■ **A partir de clorobenceno y NaOH:** este método consiste en calentar el clorobenceno con hidróxido sódico bajo una presión muy elevada y en un sistema tubular continuo de cobre. La reacción general es:

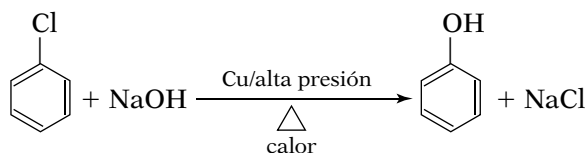
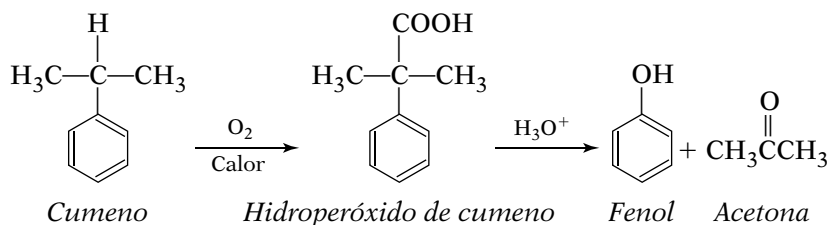


Figura 11. Distribución de las cargas negativas alrededor de los iones alcóxido (a) y fenóxido (b). Nota que el ion alcóxido es inestable debido a la localización de las cargas cerca del oxígeno.

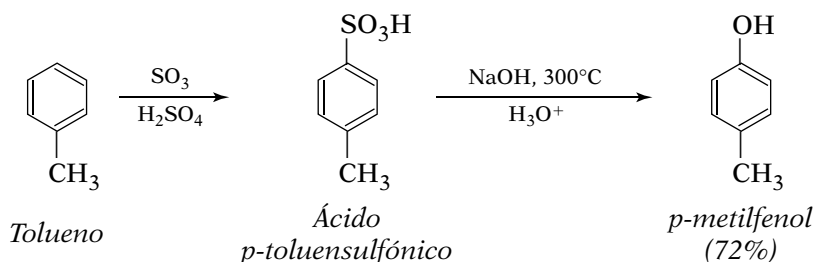


- **A partir de cumeno:** el cumeno (isopropilbenceno) reacciona con el oxígeno del aire a alta temperatura, de la siguiente manera:



Este procedimiento es muy importante a nivel industrial pues proporciona dos compuestos con múltiples aplicaciones, como el fenol y la acetona (figura 12).

- **Fusión alcalina de ácidos sulfónicos:** un tercer método, un poco más clásico, consiste en fundir los ácidos sulfónicos aromáticos en medio alcalino y alta temperatura, como se muestra en el siguiente ejemplo:



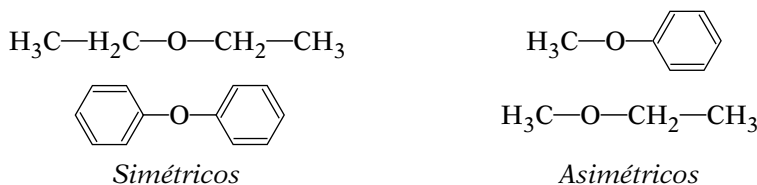
Dado que, condiciones tan drásticas son soportadas por pocos compuestos, este método se aplica sólo para la síntesis de fenoles alquil-sustituídos.



Figura 12. Cuando se trata una solución de un fenol con cloruro férrico, se produce un color intenso, azul, verde, rojo o violeta, dependiendo de los restantes grupos que contenga la molécula.

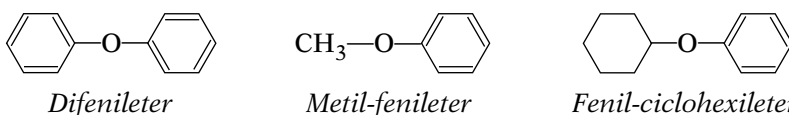
1.3 Éteres

De la misma forma que los alcoholes y los fenoles, los éteres pueden considerarse como derivados del agua en los que un átomo de hidrógeno ha sido sustituido por un radical alquilo (alcoholes) o arilo (fenoles). En los éteres, los dos hidrógenos de la molécula de agua son sustituidos por radicales, según la fórmula general $\text{R}-\text{O}-\text{R}$ o $\text{R}-\text{O}-\text{Ar}$. Si los dos grupos R o Ar son iguales, hablamos de **éteres simétricos**, mientras que, si son diferentes se denominan **éteres asimétricos**, como se ilustra en los siguientes ejemplos:



1.3.1 Nomenclatura

La nomenclatura de los éteres resulta muy sencilla si tenemos en cuenta que para nombrarlos solamente tenemos que identificar los radicales unidos al oxígeno y luego nombrarlos en orden de complejidad, terminando el nombre con la palabra éter. Estos son algunos ejemplos:



EJERCICIO

1. Escribe las ecuaciones correspondientes para la preparación de las siguientes sustancias:
 - o-bromofenol a partir de benceno.
 - p-clorofenol a partir de benceno.
2. Escribe la fórmula para las siguientes sustancias:
 - Éter dimetilico.
 - Éter metil-propílico.



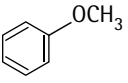
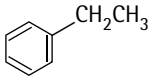
Éter	P. eb	Hidrocarburo	P. eb
CH ₃ OCH ₃	-25	CH ₃ CH ₂ CH ₃	-45
CH ₃ CH ₂ OCH ₂ CH ₃	34,6	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	36
	158		136

Figura 13. Tabla comparativa de los puntos de ebullición de algunos éteres en relación con el valor de los hidrocarburos correspondientes, en los cuales el grupo —O— es remplazado por un —CH₂—.

1.3.2 Propiedades físicas

La presencia del átomo de oxígeno electronegativo hace que los éteres tengan una ligera polarización. Como consecuencia de ello, sus puntos de ebullición son un poco más altos que los de los alcanos semejantes (figura 13). No obstante la polaridad del enlace C—O es más baja en los éteres que en los alcoholes y fenoles, debida a la sustitución del hidrógeno por un radical (R').

Los éteres se comportan como bases de Lewis, a diferencia de alcoholes y fenoles que son preferencialmente ácidos débiles.

1.3.3 Propiedades químicas

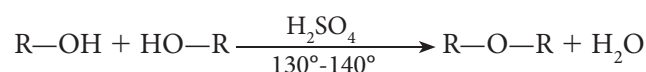
Comparándolos con los alcoholes y con otras muchas sustancias orgánicas, los éteres resultan químicamente inertes. La desaparición del enlace O—H de los alcoholes reduce considerablemente el comportamiento químico de los éteres y solamente se presenta el que corresponde al enlace C—O. El enlace C—O es fuerte, lo que explica, en parte, la baja reactividad de estas sustancias. Esta propiedad les confiere una buena capacidad disolvente. Sin embargo, algunos éteres reaccionan lentamente con el aire para formar **peróxidos**, compuestos que contienen enlaces O—O.

1.3.4 Obtención

Deshidratación de alcoholes

Este método sirve únicamente para producir éteres simétricos a partir de alcoholes primarios, por lo que su uso es algo restringido.

La reacción es catalizada con ácido sulfúrico y ocurre a través de la protonación del grupo OH⁻ de una molécula de alcohol, dando como resultado la liberación de una molécula de agua. Posteriormente, otra molécula de alcohol pierde el hidrógeno del grupo OH⁻ y se ensambla a la anterior. La reacción general es:

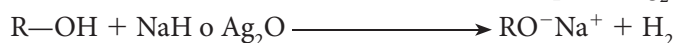


La deshidratación de alcoholes secundarios y terciarios produce alquenos, por lo que no son útiles para preparar éter por este método.

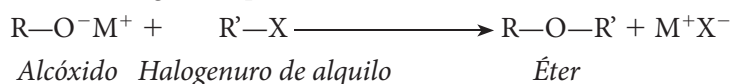
Síntesis de Williamson

Aunque este método fue descubierto en 1850, hoy todavía es el mejor para preparar éteres simétricos y asimétricos. La reacción implica el desplazamiento del ion haluro, proveniente de un halogenuro de alquilo, por parte de un ion alcóxido.

Los iones alcóxido provienen de la reacción entre un alcohol y una base fuerte como el hidruro de sodio (NaH) o el óxido de plata (Ag₂O):



La reacción general para la síntesis de Williamson es:



EJERCICIO

Escribe los siguientes compuestos en orden de acidez. Justifica tu respuesta:

- Etanol.
- Agua.
- Fenol.
- Orto-clorofenol.
- Éter etílico.

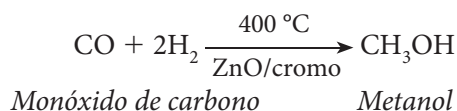


1.4. Usos y aplicaciones de algunos alcoholes, fenoles y éteres

1.4.1 Alcoholes

Metanol o alcohol metílico

En un principio el metanol se obtenía a partir de la destilación destructiva de la madera. Sin embargo, el bajo rendimiento del proceso obligó al desarrollo de métodos más favorables comercialmente. Actualmente, el metanol se obtiene masivamente por reducción del monóxido de carbono, reacción catalizada por óxidos de cromo y zinc, a altas temperaturas:



También se puede obtener metanol mediante la oxidación moderada del gas natural.

El metanol suele ser usado ilegalmente en la producción de bebidas alcohólicas adulteradas, las cuales son muy peligrosas ya que este alcohol es tóxico para el ser humano. En dosis bajas puede causar ceguera y en dosis mayores, la muerte.

En la industria se usa como solvente y como materia prima para producción de formaldehído (H—CHO), que a su vez es materia prima para la fabricación de plásticos.

Etanol o alcohol etílico

El etanol es el principal componente de las bebidas alcohólicas, las cuales se fabrican desde la antigüedad, mediante la **fermentación** (degradación por acción de las enzimas de levaduras y otros microorganismos) de los azúcares de algunas frutas o de los almidones de los cereales.

Industrialmente, la mayor parte del etanol se obtiene por hidratación del etileno, catalizada por ácido.

El etanol se utiliza como sustancia base para la producción de acetaldehído o etanal, ácido acético, cloruro de etilo y butadieno, entre otros productos químicos de importancia industrial. Mezclado con metanol se emplea como combustible. Debido a su bajo punto de congelación ($-114,1\text{ }^{\circ}\text{C}$) se emplea como anticongelante y como líquido termométrico, ya que permite medir temperaturas inferiores al punto de congelación del mercurio ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Debido a su poder disolvente se utiliza en la elaboración de perfumes, lacas, celulosidos y explosivos (figura 14).

Glicol o etilenglicol

Se obtiene comercialmente a partir del etileno.

Es muy soluble en agua y tiene un punto de ebullición muy alto comparado con el del etanol y metanol. Se usa como anticongelante del agua en los radiadores de automóviles y como lubricante en máquinas productoras de hielo. Puede remplazar a la glicerina en el ablandamiento de las fibras textiles y para neutralizar las grasas. Se puede usar también mezclado con agua en la proporción del 25 al 35% para la refrigeración de motores, fluido de frenos hidráulicos, humectante y disolvente industrial, así como en la síntesis de plásticos y de fibras (figura 15).



Figura 14. El etanol se emplea en numerosos productos de uso doméstico.



Figura 15. El glicol es un alcohol muy empleado en la formación de preparados anticongelantes.

EJERCICIO

Investiga los efectos de ingerir licores adulterados. Explica las alteraciones fisiológicas que se presentan.



Figura 16. El alcohol isopropílico, por ser un buen disolvente de grasas, es usado en la preparación de productos de limpieza para equipos electrónicos.



Figura 17. El alcohol isopropílico puede ser empleado en la extracción y purificación de sustancias.

Glicerol

Es un poliol, denominado 1,2,3-propanotriol y conocido comúnmente como glicerina. Como constituyente fundamental de las grasas se puede obtener por hidrólisis de las mismas.

Se obtiene industrialmente como subproducto en la fabricación de jabón. El glicerol es una sustancia viscosa y de sabor dulce, soluble en agua y en alcohol en cualquier proporción. No es tóxico y se emplea en la fabricación de medicamentos líquidos. Por su capacidad humectante se usa también en la elaboración de productos cosméticos. Es un buen disolvente, lubricante, plastificante, edulcorante y anticongelante. También se emplea en la fabricación de nitroglicerina y dinamita. En medicina se usa como emoliente.

Isopropanol o alcohol isopropílico

Es un líquido incoloro e inflamable, muy parecido al etanol en sus propiedades físicas, por lo que puede sustituirlo como disolvente, anticongelante y materia prima para la preparación de lociones, medicamentos, jabones y otros productos farmacéuticos. Es soluble en agua y en todos los disolventes ordinarios oxigenados y derivados de hidrocarburos.

El comportamiento químico del alcohol isopropílico es semejante en muchos aspectos a otros alcoholes, particularmente a los monoles de bajo peso molecular. Una reacción importante del alcohol isopropílico para usos industriales es su condensación con varios compuestos aromáticos para formar derivados isopropilados, tales como el cumeno (isopropilbenceno) o el cimeno (isopropiltolueno).

El alcohol isopropílico es un excelente disolvente de aceites volátiles y grasos, gomas y algunas resinas sintéticas (figura 16). Así mismo, alcaloides, proteínas y otras sustancias orgánicas como la clorofila, son solubles en alcohol isopropílico, por lo que se utiliza industrialmente para la extracción y purificación de estos compuestos (figura 17). También se utiliza como líquido para frenos hidráulicos y en limpiadores y quitamanchas. En el mantenimiento de computadores es muy utilizado, ya que se evapora rápidamente, siendo ideal para la limpieza de componentes, tanto externos como internos.

1.4.2 Fenoles

Tanto el fenol como sus derivados se emplean como desinfectantes, germicidas y en anestésicos locales. La hidroquinona y compuestos similares se emplean en los reveladores fotográficos. Pero la principal aplicación del fenol es la fabricación de resinas y plásticos de fenol-formaldehído, como la baquelita.

El fenol también es cáustico, produce ampollas en la piel e ingerido es venenoso.

1.4.3 Éteres

En el laboratorio de química se emplean como disolventes, especialmente de sustancias orgánicas. En la industria se emplean en la fabricación de los compuestos de Grignard y para obtener bajas temperaturas mezclado con nieve carbónica. En algunos casos puede ser usado como anestésico, pero tiene efectos secundarios especialmente sobre el sistema respiratorio y los riñones, por lo que su uso es restringido.

EJERCICIO

Investiga:

- ¿Qué es la nieve carbónica?
- ¿Por qué el éter etílico se ha convertido últimamente en una sustancia química de uso restringido?, ¿qué problema social ha generado su comercio ilegal?



Interpreta

1 Relaciona los términos y las definiciones y escribe las letras entre los paréntesis según corresponda.

- a) Alcohol
- b) Fenol
- c) Éter
- d) Alcohol primario
- e) Alcohol secundario
- f) Alcohol terciario
- () Oxígeno con dos grupos funcionales
- () Alcano en el cual un hidrógeno se reemplaza por OH^-
- () Anillo aromático con OH unido a él
- () 2-metil-2-propanol
- () 2-propanol

2 Escribe la estructura para los siguientes compuestos:

- a) 2-cloroetanol
- b) 5,5-dimetil-3-hexanol
- c) 2-metil-5-hexen-3-ol
- d) 1,2,3-propanotriol
- e) 1-metoxipropano
- f) Alcohol isopropílico
- g) 4-isopropoxiciclohexanol
- h) 2-etoxibutano



Argumenta

3 La fermentación es el procedimiento más común para obtener bebidas alcohólicas, a partir de cereales como la cebada, el trigo, el maíz o frutos como la uva. Algunas bebidas, como el whisky, el ron y el vodka, se obtienen por destilación del fermento, pero en todos los casos el proceso produce etanol. Consulta y responde:

- a) ¿Qué diferencias encuentras entre las bebidas fermentadas y las destiladas?
- b) ¿Cuáles procedimientos se emplean para obtener una bebida fermentada y una destilada?

4 El fenol fue el primer antiséptico empleado por Joseph Lister en 1867, en una cirugía. También es usado como ingrediente en pomadas y ungüentos, pero tiene el inconveniente de que no

solo destruye los organismos indeseables sino todo tipo de células. Por tal razón ha sido sustituido por el 4-hexilesorcinol, que se emplea en algunos enjuagues bucales. Explica:

- a) ¿Cuál es su fórmula estructural, si el nombre IUPAC del 4-hexilesorcinol es 1,3-dihidroxi-4-hexilbenceno?
- b) ¿Por qué razón el fenol ataca las células?

5 La relación entre la masa molecular y los puntos de fusión y ebullición en los alcoholes y éteres es una de sus características más destacadas. Grafica esta relación en un plano de coordenadas, ubicando en el eje X el punto de ebullición y en el eje Y, la masa molecular. Explica, a partir de ella, la relación de proporcionalidad.



Propone

6 Las bebidas alcohólicas poseen en su composición un porcentaje variable de etanol, dependiendo del fruto o semilla que se fermenta para obtenerlas. Por ejemplo, el vino se obtiene por fermentación de la uva; la sidra, de la manzana; la cerveza, de la cebada. El consumo excesivo y la dependencia de estas bebidas alcohólicas, conocido como alcoholismo, afecta a un alto porcentaje de la población mundial, incluyendo la población joven. Explica:

- a) ¿Qué efectos produce en el organismo el consumo de alcohol?
- b) ¿Por qué razones se ha incrementado el consumo de alcohol en los jóvenes?
- c) ¿Cómo se puede prevenir el consumo de alcohol en los jóvenes?

7 Los efectos que tiene el alcohol en las personas varía según su peso corporal, sus condiciones físicas, la cantidad de alimento presente en el estómago y la experiencia del bebedor. ¿Esto significa que una persona obesa soporta mayor cantidad de alcohol en su organismo? Justifica tu respuesta.

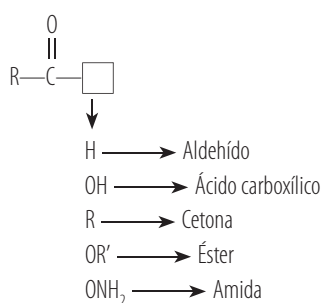


Figura 18. Resumen esquemático de los diferentes grupos de compuestos derivados del grupo carbonilo.

2. Aldehídos y cetonas

Los aldehídos y las cetonas son compuestos carbonílicos de amplia difusión en la naturaleza. Se pueden encontrar aislados o formando parte de innumerables compuestos orgánicos, muchos de los cuales tienen gran interés bioquímico.

2.1 Naturaleza del grupo funcional carbonilo

La estructura general del grupo funcional carbonilo es: $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-$

El grupo R puede tener una cadena hidrocarbonada lineal (grupo alquilo) o un compuesto aromático (grupo arilo). La cuarta posibilidad de enlace del carbono, puede ser ocupada por grupos o átomos como, H, R', OH, OR', ONH₂, entre otros. Dependiendo de qué grupo se presente, se tienen: aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres o amidas, respectivamente (figura 18). Aldehídos y cetonas presentan un comportamiento químico común, mientras que los demás grupos difieren considerablemente.

El doble enlace C=O es similar, en muchos aspectos, al doble enlace C=C de los alquenos. El átomo de carbono del grupo carbonilo presenta hibridación del tipo sp² y forma tres enlaces σ. El otro orbital p del carbono se superpone con un orbital p del oxígeno, para formar un enlace π. Dada la naturaleza rígida del doble enlace, los compuestos carbonílicos, al igual que los alquenos, son planares y los átomos enlazados al carbono forman, entre sí, ángulos de enlace cercanos a los 120° (figura 19).

Debido a la electronegatividad del oxígeno la longitud de enlace en el grupo carbonilo es menor (1,22 Å) que en un enlace sencillo C—O (1,43 Å) y mucho más fuerte. Igualmente la elevada electronegatividad del oxígeno hace que el doble enlace C=O esté polarizado, por esta razón todos los compuestos carbonílicos son polares.

Una de las consecuencias más importantes de la polaridad del grupo carbonilo es su gran reactividad química. El carbono carbonilo presenta una carga parcial positiva que lo convierte en un sitio electrófilo. De igual forma, el oxígeno posee una carga parcial negativa que lo convierte en un sitio nucleófilo (figura 20).

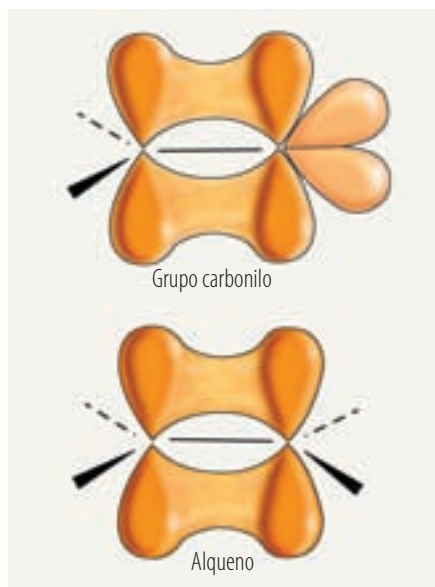
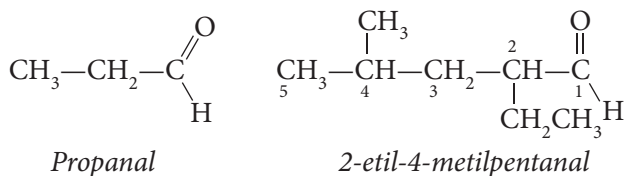


Figura 19. Comparación entre la estructura del doble enlace C=O y C=C de los compuestos carbonílicos y de los alquenos respectivamente

2.2 Nomenclatura

2.2.1 Aldehídos

El nombre de los aldehídos se deriva del nombre del alcano correspondiente, adicionando la terminación **-al** e indicando la posición de los diversos sustituyentes que pueda portar la cadena principal. Ejemplo:

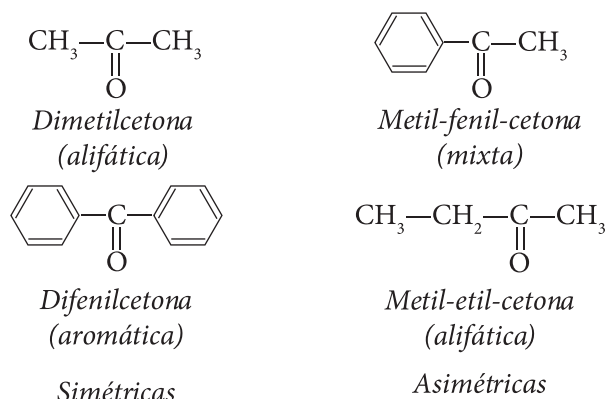




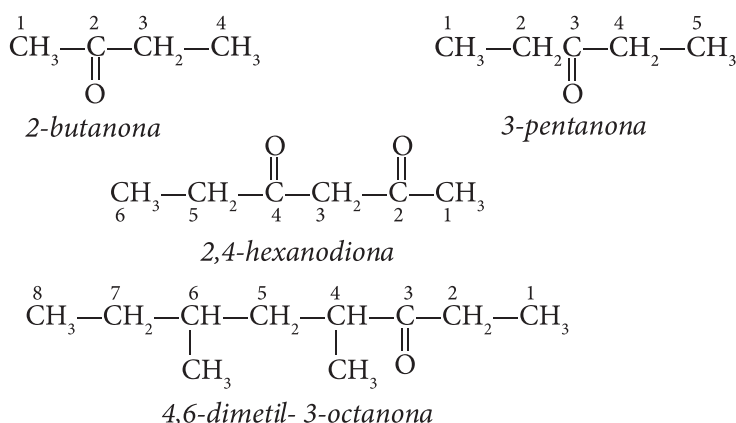
Muchos aldehídos se conocen más por sus nombres comunes, los cuales portan la terminación **-aldehído** (figura 21).

2.2.2 Cetonas

De acuerdo con el tipo de grupos R que estén unidos al carbono carbonílico, las cetonas pueden ser: alifáticas, aromáticas o mixtas. Si los grupos R son iguales, se trata de cetonas simétricas, mientras que si son diferentes, se tienen cetonas asimétricas. Veamos algunos ejemplos.



Existen dos maneras de nombrar una cetona. La primera consiste en mencionar cada radical por orden de complejidad y luego la terminación cetona (metil-etilcetona, etil-fenilcetona, etil-propilcetona, etc.). La segunda forma consiste en numerar la cadena principal, portadora del grupo carbonilo, cuidando que al carbono carbonílico le sea asignado el menor número posible. De la misma forma, se indican los sustituyentes. Finalmente, se añade el sufijo **-ona**, como se ilustra en los siguientes ejemplos:



2.3 Propiedades físicas

Al igual que en alcoholes y fenoles, la mayoría de las propiedades físicas de aldehídos y cetonas se relacionan con la magnitud de las fuerzas intermoleculares y con el tamaño de la molécula.

- **Estado físico:** los compuestos de bajo peso molecular como el metanal, son gases, mientras que desde el etanal o acetaldehído, que tiene dos carbonos hasta el dodecanal, de doce carbonos, son líquidos. Compuestos más pesados, se presentan en estado sólido.

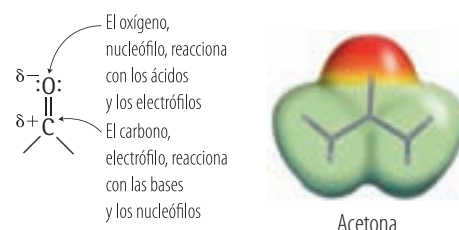


Figura 20. Polaridad del grupo C=O. Como ejemplo se muestra la distribución electrónica de la molécula de acetona.

Nombre común	Nombre oficial	Fórmula
Formaldehído	Metanal	HCHO
Acetaldehído	Etanal	CH ₃ CHO
Propionaldehído	Propanal	CH ₃ CH ₂ CHO
Butiraldehído	Butanal	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CHO
Valeraldehído	Pentanal	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CHO
Acroleína	2-propenal	H ₂ C=CHCHO
Benzaldehído	Bencenocarbaldehído	CHO
Acetona	Propanona	CH ₃ -CO-CH ₃
Metilfenilcetona	Acetofenona	CH ₃
Benzofenona	Difenilcetona	

Figura 21. El cuadro presenta los nombres comunes para algunos aldehídos y cetonas.

Alcano: <i>butano</i> PM = 58	Éter: <i>etil-metil-éter</i> PM = 60	Aldehído: <i>propanal</i> PM = 58	Cetona: <i>propanona</i> PM = 58	Alcohol: <i>propanol</i> PM = 60
-0,5	7,9	49	56	97,2
Temperatura de ebullición (°C)				
Polaridad molecular → Fuerzas intermoleculares (puentes de hidrógeno, interacciones dipolo-dipolo y fuerzas de London)				

Figura 22. El esquema muestra la relación entre la temperatura de ebullición y las diferentes fuerzas intermoleculares en hidrocarburos, éteres, aldehídos, cetonas y alcoholes, para pesos moleculares (PM) similares.

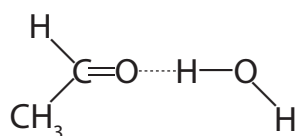


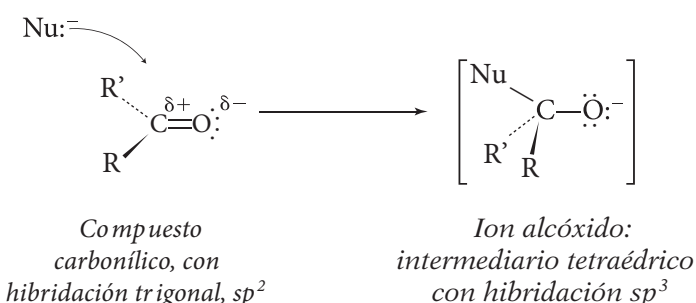
Figura 23. Interacciones intermoleculares entre el etanal y el agua, responsables de la solubilidad de este compuesto en agua.

- **Punto de ebullición:** los puntos de ebullición de aldehídos y cetonas presentan un valor intermedio entre el registrado para éteres y alcoholes, pues la magnitud de la polaridad de los compuestos carbonílicos no es tan grande como la de los alcoholes (figura 22).
- **Solubilidad:** las moléculas pequeñas, de hasta cinco átomos de carbono son solubles en solventes polares, como el agua. A medida que aumenta el tamaño de las moléculas, disminuye la solubilidad de los compuestos. Esto se debe a que la porción polar, es decir, la zona de la molécula que porta el grupo carbonilo se va haciendo cada vez más pequeña en relación con la porción hidrocarbonada, apolar. Como consecuencia de ello, las fuerzas intermoleculares entre solvente y soluto no son suficientemente grandes como para solubilizar moléculas demasiado grandes. En la figura 23 se muestra la manera como se forman puentes de hidrógeno entre el etanal y el agua.

2.4 Propiedades químicas

2.4.1 Adición nucleofílica

La reacción más común de los aldehídos y las cetonas es la adición nucleofílica. Esta reacción implica la adición de un nucleófilo al carbono, electrófilo, del grupo carbonilo. Puesto que el nucleófilo emplea su par de electrones para formar el nuevo enlace con el carbono, los dos electrones del doble enlace $C=O$ deben desplazarse hacia el átomo de oxígeno, que es más electronegativo. Allí son estabilizados, y se forma un anión alcóxido, como compuesto intermedio, cuya configuración geométrica es tetraédrica. Esto se debe a que durante el proceso el carbono carbonilo pasa de una hibridación sp^2 a sp^3 . El mecanismo general de este tipo de reacción se puede representar de la siguiente manera:



Los aldehídos son más reactivos que las cetonas, dado que la presencia de un solo sustituyente R, permite una mejor aproximación del nucleófilo al carbono carbonílico y hace que el intermediario tetraédrico sea más estable (figura 24). De igual forma, las cetonas aromáticas son más reactivas que las alifáticas, pues en la estructura cíclica los átomos están rígidamente dispuestos y hay menos “amontonamiento” cuando se forma la molécula tetraédrica.

En la figura 25 se resumen las diferentes reacciones de adición y los productos resultantes.

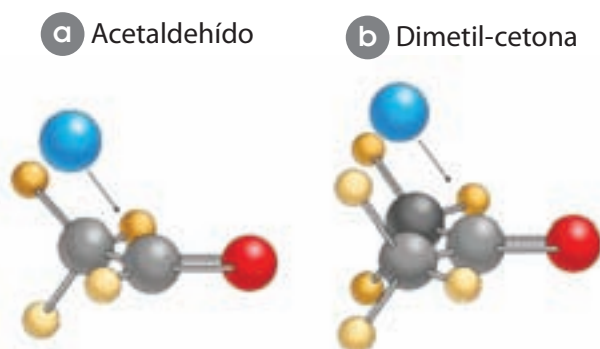


Figura 24. Reactividad relativa de aldehídos y cetonas. Los aldehídos (a) son más reactivos que las cetonas (b) debido en gran parte a la facilidad que ofrecen al acercamiento de especies nucleófilas.

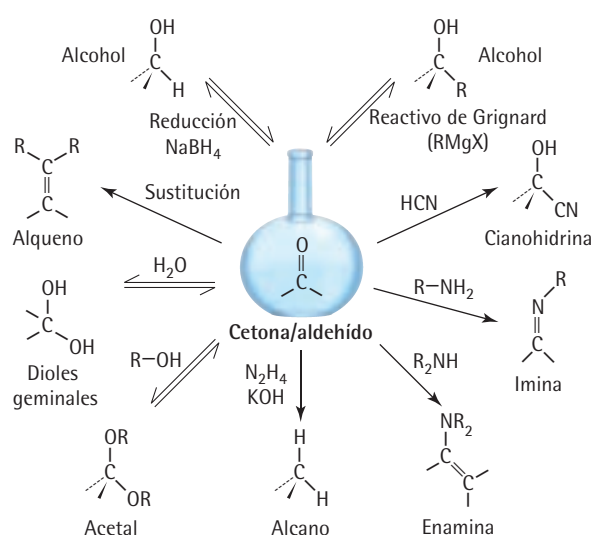


Figura 25. El esquema resume las principales reacciones en las que intervienen los aldehídos y las cetonas.



Reducción: formación de alcoholes

La **reducción** de compuestos orgánicos, se relaciona con un **incremento en el contenido de hidrógeno**, o con una **disminución de las cantidades de oxígeno, nitrógeno o halógenos presentes en una molécula**. Por el contrario la **oxidación** es un proceso en el cual ocurre **disminución del contenido de hidrógeno o incremento en la cantidad de oxígeno, nitrógeno o halógenos presentes**.

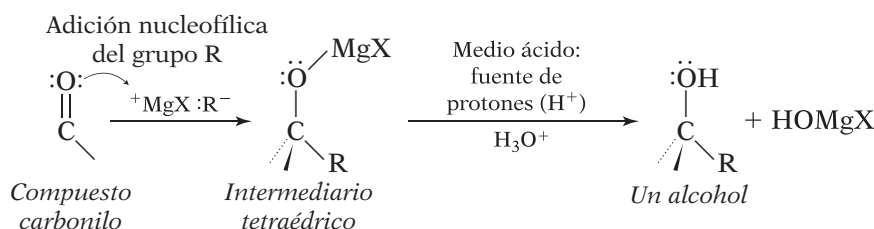
Bajo este contexto, la reducción de aldehídos y cetonas es una adición nucleofílica de hidrógenos. Los aldehídos se reducen a alcoholes primarios, mientras que las cetonas generan alcoholes secundarios, como se vio en el tema anterior.

El proceso se puede efectuar mediante el empleo de un buen número de agentes reductores, como el hidruro de litio y aluminio, LiAlH_4 , o el borohidruro de sodio, NaBH_4 . El uso de este último se prefiere debido a la seguridad y la facilidad de manejo, en contraste con el LiAlH_4 que reacciona violentamente con el agua y se descompone cuando se somete a temperaturas mayores de 120°C , por lo que debe ser manejado con mucho cuidado.

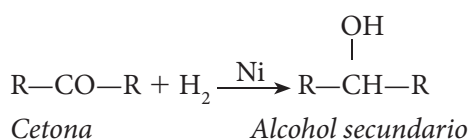
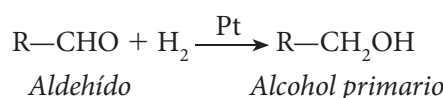
Otra forma de efectuar la reducción es la hidrogenación catalítica.

Hidrogenación catalítica

En el caso del reactivo de Grignard, la formación de alcoholes por reacción entre este reactivo y un aldehído o cetona se puede interpretar también como una adición nucleofílica del grupo R del reactivo de Grignard, con reducción del oxígeno carbonílico. Este grupo R tiene carga negativa, por lo que es atraído por el carbono carbonílico, que presenta una deficiencia de electrones. La reacción debe ocurrir en medio ácido para potenciar la polaridad existente entre el oxígeno y el carbono carbonílicos y facilitar así el ataque nucleofílico. El mecanismo de reacción se ilustra a continuación:



Los aldehídos y cetonas también pueden reducirse a alcoholes mediante hidrogenación catalítica. El agente reductor es hidrógeno ocluido en metales porosos como platino o paladio. La reacción general es:



La reducción puede continuarse hasta obtener el hidrocarburo correspondiente utilizando amalgama de Zn en ácido clorhídrico concentrado (figura 26).

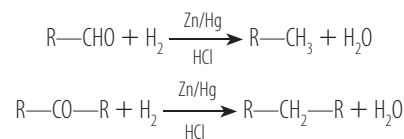


Figura 26. Reducción de aldehídos y cetonas a hidrocarburos.

EJERCICIO

Escribe la ecuación que representa los productos de la reducción de las siguientes sustancias:

- metil-etil-cetona
- propanal

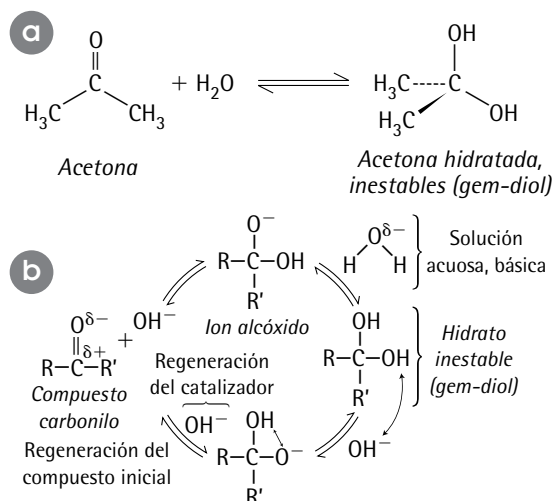


Figura 27. Hidratación aldehídos y cetonas. a) Reacción general para la acetona. b) Reacción catalizada por medio básico.

Hidratación

Los aldehídos y las cetonas en solución acuosa pueden reaccionar lentamente con el agua, dando lugar a productos hidratados. La reacción es reversible y el equilibrio se halla por lo general desplazado hacia el compuesto carbonílico, siendo el producto hidratado muy inestable (figura 27a). Nótese que el hidrato intermedio es un diol. Estos compuestos se conocen como **dioles geminales** o **gem-dioles**.

La reacción es catalizada por la presencia de iones ácidos o básicos en la solución acuosa. En medios básicos, los iones hidróxido actúan como nucleófilos, uniéndose al carbono del grupo carbonilo para producir un ion alcóxido como compuesto intermedio. Posteriormente el ion alcóxido extrae un protón H^+ del agua para formar el gem-diol, que a su vez, puede liberar un protón desde cualquiera de los dos grupos OH, regenerando así el compuesto carbonilo inicial (figura 27b).

La concentración de la especie hidratada en el equilibrio depende del compuesto inicial. Así, el formaldehído en solución acuosa se presenta hidratado en una proporción cercana al 99,9%, mientras que la acetona lo está solo en un 0,1%.

Adición de alcoholes: formación de acetales

Aldehídos y cetonas reaccionan en forma reversible con alcoholes en presencia de un catalizador ácido para producir un grupo de compuestos llamados **acetales**, si se derivan de aldehídos y **cetales** si provienen de cetonas (figura 28).

La formación de acetales y cetales es similar a la reacción de hidratación estudiada anteriormente. Como el agua, los alcoholes son nucleófilos débiles que se unen lentamente a los aldehídos y cetonas en condiciones neutras. Sin embargo, en condiciones ácidas el oxígeno del grupo carbonilo se protona, siendo el compuesto protonado resultante, mucho más reactivo que el neutro. El mecanismo de la reacción completa se muestra a continuación, para el acetaldehído o etanal y un alcohol cualquiera ($\text{R}'-\text{O}-\text{H}$):

Observando el mecanismo de la página siguiente. En el **paso 1**, el etanal es protonado por los iones H^+ del medio ácido, aumentando así su polaridad y el carácter electrófilo del carbono carbonílico. El **paso 2** implica el ataque nucleofílico del carbono carbonílico, por parte de una molécula de alcohol. A continuación, en el **paso 3**, una molécula de agua del medio acuoso extrae el hidrógeno del grupo OH del alcohol entrante, liberando un ion H_3O^+ y originando un **hemiacetal** o hidroxiéter, pues tiene los grupos funcionales $-\text{O}-$ y $\text{OH}-$. El hemiacetal es protonado (**paso 4**), con posterior liberación de una molécula de agua y formación de un ion altamente polar que funciona como electrófilo a nivel del carbono carbonílico. Sucede entonces el ataque nucleofílico por parte de un segundo alcohol (**paso 5**) lo cual da lugar a una forma intermedio (**paso 6**) similar a la formada en el paso 2. Finalmente, en el **paso 7**, se produce la liberación de un ion H_3O^+ y la formación del acetal.

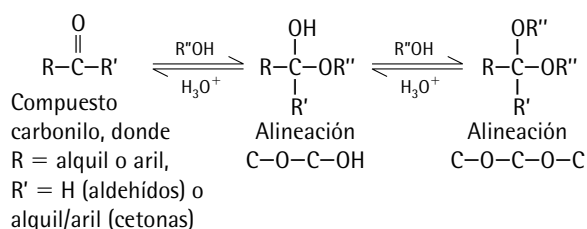
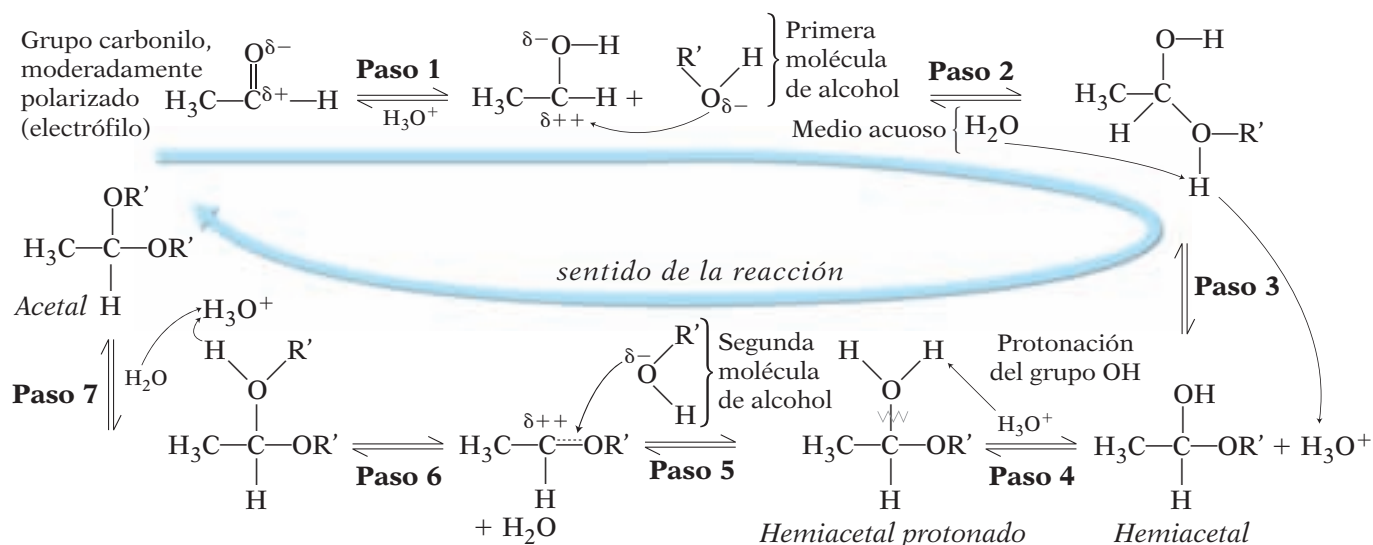


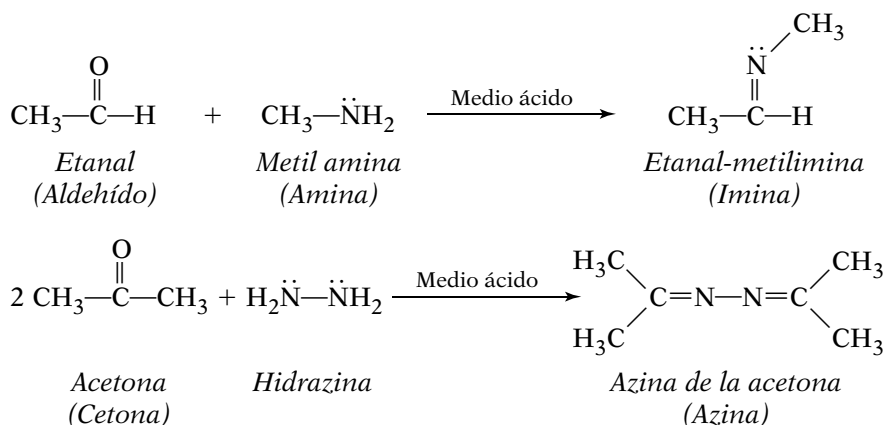
Figura 28. Reacción general para la formación de hemiacetales, hemicetales, acetales y cetales. Nota que los dos primeros poseen una alineación $\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{OH}$, de manera que son éteres y alcoholes a la vez; mientras que la estructura de acetales y cetales es $\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{C}$, es decir, son diéteres.



Los acetales son inertes frente a las bases, agentes reductores del tipo hidruro y reactivos de Grignard, por lo que se usan para proteger el grupo carbonilo de cualquier alteración, en reacciones químicas en las que se desea modificar otro grupo funcional. La molécula inicial puede ser regenerada desplazando el equilibrio hacia el compuesto carbonilo.

Adición de aminas

En términos generales, la adición de compuestos nitrogenados a aldehídos y cetonas da como resultado el remplazo del oxígeno carbonilo por el grupo $\text{N}-\text{R}$, donde R puede ser: H, NH_2 , OH o un radical alquilo o arilo. Veamos algunos ejemplos.



La biosíntesis de aminoácidos —monómeros constitutivos de las proteínas—, se lleva a cabo a través de la adición de amoníaco a un precursor portador de un grupo cetónico.

Por ejemplo en la síntesis de alanina, a partir de ácido pirúvico y amoníaco, bajo la acción de numerosas enzimas, la etapa clave de esta transformación biológica es la adición nucleofílica de amoníaco al grupo carbonilo cetónico del ácido pirúvico. El intermediario tetraédrico pierde agua y produce una imina, la cual es posteriormente reducida para producir el aminoácido.

EJERCICIO

Dado que las reacciones que ocurren durante la formación de acetales y hemiacetales son reversibles, ¿cómo se podría desplazar el equilibrio para producir la mayor cantidad de acetales, en detrimento del compuesto carbonilo inicial?



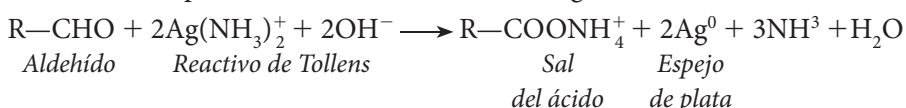
Figura 29. El reactivo de Tollens se emplea para diferenciar aldehídos de cetonas, pues los aldehídos reaccionan formando un espejo de plata en el tubo de ensayo mientras que las cetonas no reaccionan.

2.4.2 Oxidación

Los aldehídos se oxidan fácilmente convirtiéndose en ácidos carboxílicos, mientras que las cetonas son resistentes a la acción de la mayoría de los agentes oxidantes, excepto en condiciones muy especiales. Esto se debe a la presencia de un hidrógeno en el grupo funcional aldehído, ausente en el cetónico. Este hidrógeno es susceptible de ser oxidado, dando lugar a un grupo OH.

Dentro de los agentes y procedimientos oxidantes más usados podemos mencionar: el ácido nítrico (HNO_3) en caliente, el KMnO_4 y los reactivos de Jones ($\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ acuoso), Tollens (solución amoniacal de nitrato de plata) y Fehling (solución alcalina de cobre). Estos últimos son muy importantes porque sirven para diferenciar cualitativamente, en el laboratorio, aldehídos de cetonas (figuras 29 y 30).

La reacción para el reactivo de Tollens es la siguiente:



Macroscópicamente se evidencia que ocurrió oxidación porque la plata metálica (Ag^0) forma un espejo plateado sobre las paredes del tubo donde se lleva a cabo la reacción (figura 29).

Por su parte la acción oxidante del reactivo de Fehling se evidencia con la aparición de un precipitado amarillo a rojo ladrillo de óxido cuproso según la reacción:

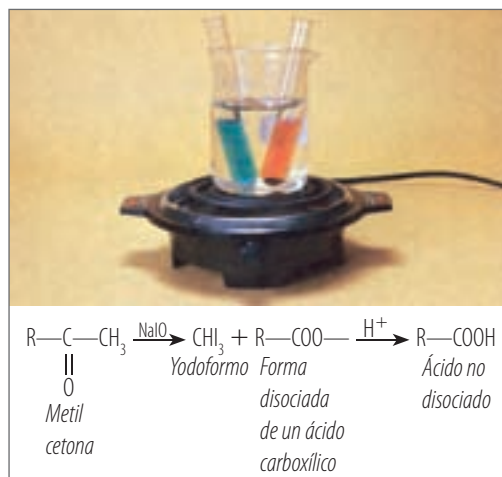
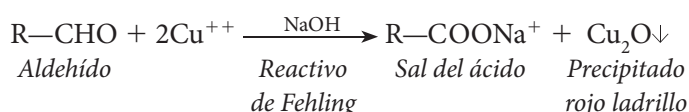


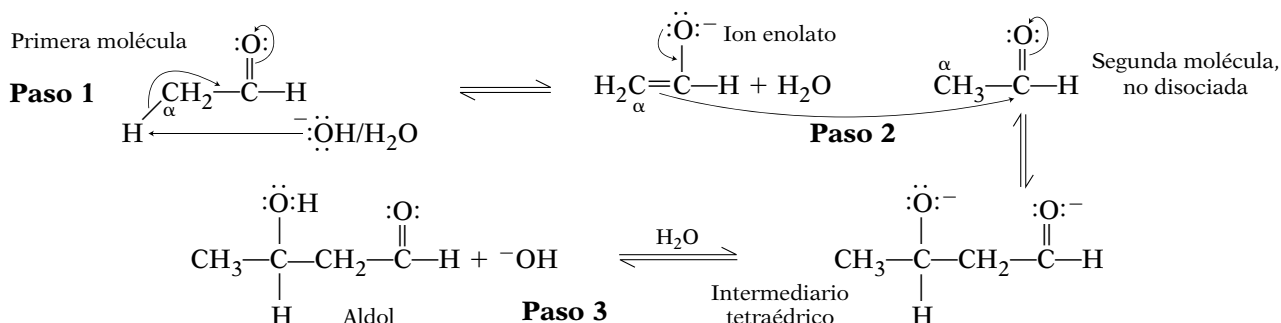
Figura 30. La prueba del haloformo se emplea para identificar metil-cetonas ($\text{R}-\text{CO}-\text{CH}_3$). Si se emplea NaIO , un resultado positivo se evidencia por la formación de un precipitado amarillo de cristales de CHI_3 .

2.4.3 Condensación aldólica

Cuando dos moléculas de un mismo compuesto carbonilo reaccionan entre sí —generalmente en medio básico— el resultado es una molécula conjugada, que posee un grupo hidroxilo y un grupo carbonilo, por lo que se denomina **aldol** (contracción de aldehído y alcohol). El término se aplica de manera general, aún cuando en sentido estricto sólo se aplica a la condensación de un aldehído y no de una cetona.

La condensación puede entenderse como una adición en una de las moléculas y una sustitución en la otra. El intercambio ocurre sobre el carbono adyacente al carbono carbonilo, denominado carbono α , por lo que se habla de un proceso de adición-sustitución en α .

El mecanismo de reacción se puede resumir en los siguientes pasos:

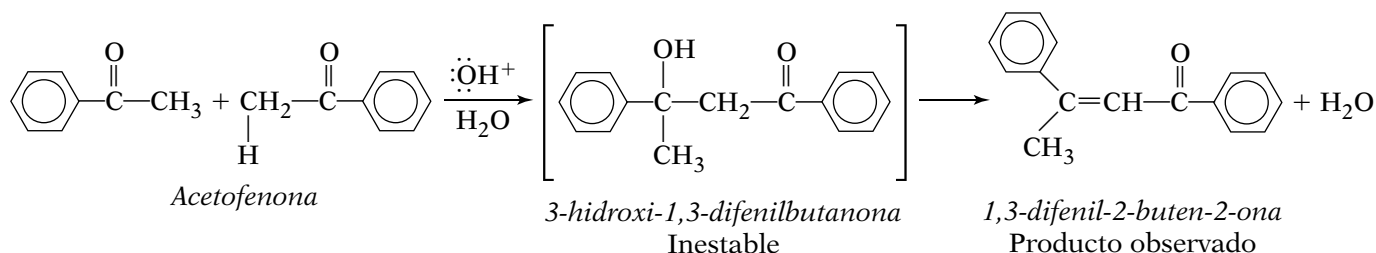




- **Paso 1:** cuando la reacción ocurre en medio básico, el hidrógeno α (es decir, unido al carbono α) es atraído por los iones OH^- del medio, dando como resultado la formación de un ion enolato.
- **Paso 2:** el ion enolato actúa como nucleófilo, por lo que ataca el carbono carbonilo de una molécula no disociada. El resultado es la adición nucleofílica de este ion y la formación de un intermediario tetraédrico.
- **Paso 3:** el oxígeno carbonílico de la molécula donde ocurre la adición, es protonado por el agua del medio, dando lugar al grupo OH del aldol.

Nota que el ion enolato experimenta la sustitución del grupo R, por el ion tetraédrico portador del grupo hidroxilo.

No todas las condensaciones dan como producto un aldol. En algunos casos se produce una molécula α y β insaturada, es decir, con un doble enlace entre los carbonos α y β . Por ejemplo, la condensación de la acetofenona da como resultado la formación del 1,3-difenil-2-buten-1-ona:



2.5 Métodos de preparación

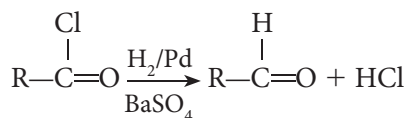
2.5.1 En el laboratorio

Oxidación de alcoholes

Recordemos que la oxidación de alcoholes primarios produce aldehídos y la oxidación de alcoholes secundarios conduce a la formación de cetonas. El proceso general implica la **deshidrogenación** del alcohol. Los alcoholes primarios suelen oxidarse hasta convertirse en ácidos carboxílicos, lo cual dificulta la separación del aldehído. Esto se logra mediante la destilación del aldehído a medida que se produce, gracias a que los aldehídos tienen puntos de ebullición menores que los alcoholes.

Reducción de cloruros de ácido

La reducción de cloruros de ácido a aldehídos, se conoce como **reducción de Rosenmund**. La reacción consiste en una hidrogenólisis catalítica en condiciones muy controladas para evitar la posterior reducción a alcohol. La reacción general se puede expresar así:



La reacción se efectúa con un catalizador de paladio sobre un soporte de sulfato de bario que ha sido parcialmente desactivado o envenenado con una mezcla de azufre y quinoleína.

Es un método específico para preparar aldehídos y se aplica con éxito a cloruros de ácidos alifáticos y especialmente aromáticos (figura 31).

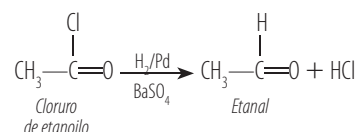


Figura 31. Preparación de etanal a partir de un cloruro de ácido.

EJERCICIO

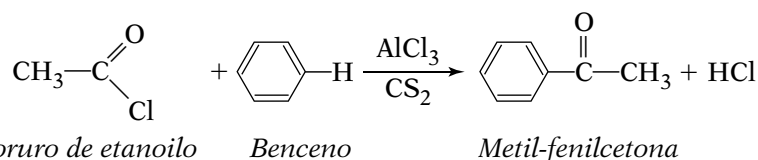
Escribe los productos de la reacción entre el m-metil benzaldehído y el metanal en presencia de hidróxido de sodio. En lo posible plantea un mecanismo de reacción para este proceso.



Figura 32. Los fenoles, especialmente aquellos disustituidos, pueden oxidarse fácilmente formando quinonas. Esta es la razón de que algunos reactivos fenólicos se alteren luego de largos períodos de almacenamiento.

Acilación de Friedel y Crafts

Esta reacción es característica de los compuestos aromáticos. Las metil cetonas pueden obtenerse acilando compuestos aromáticos con cloruro de acilo y cloruro de aluminio, en disulfuro de carbono.



La reacción general se representa así:

Empleando cloruros de ácido más grandes, se pueden obtener las correspondientes cetonas.

2.5.2 En la industria

El formaldehído, el acetaldehído, la acetona y la metiletilcetona son los aldehídos y las cetonas de mayor importancia industrial y económica. Es por eso que en la siguiente tabla se resumen brevemente los métodos empleados para su obtención:

Fórmula y nombre oficial	Nombre común	Método de preparación
H—CHO <i>Metanal</i>	Formaldehído o formalina	Oxidación, en fase de vapor, de metanol, con aire sobre un catalizador de plata o una mezcla de óxido de hierro y óxido de molibdeno: $\text{CH}_3\text{OH} + 1/2 \text{O}_2 \xrightarrow[600^\circ\text{C}]{\text{Ag}} \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$
CH ₃ —CHO <i>Etanal</i>	Acetaldehído	Hidratación del acetileno en una solución diluida de ácido sulfúrico y sulfato de mercurio a 80 °C: $\text{HC}\equiv\text{CH} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{C}=\text{CHOH} \longrightarrow \text{CH}_3-\text{CHO}$ Acetileno Intermediario enólico inestable Acetaldehído
CH ₃ —C(=O)—CH ₂ —CH ₃ <i>Butanona</i>	Metil-etilcetona	Oxidación de 2-butanol: $\text{CH}_3-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \xrightarrow{\text{Oxidación}} \text{CH}_3-\underset{\text{O}}{\text{C}}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
CH ₃ —C(=O)—CH ₃ <i>Propanona o dimetil-cetona</i>	Acetona	Subproducto en la fermentación de carbohidratos para obtener alcohol butílico.

2.6 Quinonas

Las **quinonas** constituyen un grupo especial de cetonas. Son moléculas cíclicas α-β-insaturadas, con dos grupos cetónicos. Dado que su comportamiento químico es distinto del que muestran las cetonas alifáticas se consideran como un grupo independiente, aunque emparentado con éstas.

Las quinonas son producto de la oxidación de los orto y para difenoles. Se preparan por lo general por oxidación de dihidroxi, hidroxiamino o diaminoderivados aromáticos con las funciones (OH) y (NH₂) situadas en posiciones orto o para (figura 32).



Los siguientes son ejemplos de estas conversiones

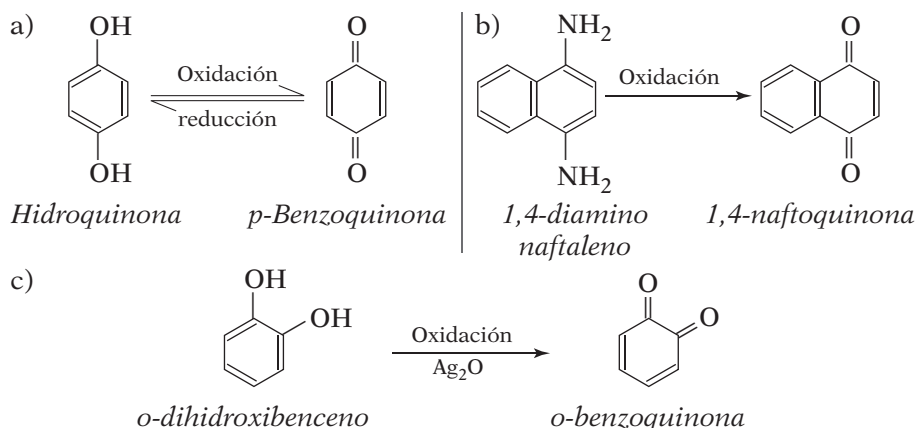


Figura 33. La hidroquinona se emplea como revelador fotográfico. Durante el proceso se oxida a benzoquinona.

En la naturaleza son muy importantes por su papel como agentes óxido-reductores. Esta propiedad las hace excelentes reveladores fotográficos (figura 33). Por otro lado, su versatilidad como colorantes las hace muy útiles a nivel industrial (figura 34).

Las quinonas son generalmente sustancias sólidas. Las de constitución para son amarillas, mientras que las de constitución orto son rojas. Son insolubles en agua, pero solubles en éter y cuando se disuelven en ácidos como el ácido sulfúrico o en álcalis forman soluciones con coloraciones especiales.

Una de las quinonas más importantes a nivel industrial es la **antraquinona**, de la cual se derivan gran cantidad de colorantes.

Se obtiene industrialmente por oxidación del antraceno



Es un sólido cristalino y amarillo, con una temperatura de fusión de 284 °C y de ebullición igual a 382 °C. Se disuelve difícilmente en solventes orgánicos, pero sí lo hace en ácido sulfúrico concentrado y caliente.

Dentro de los colorantes derivados de la antraquinona encontramos dos clases: los de tina, como el rojo algol y los de mordiente, como la **alizarina**. En general estos colorantes son vivos e intensos, muy resistentes al lavado y a la luz. Sin embargo implican altos costos de producción.

La alizarina o dihidroxiantraquinona es un colorante natural extraído de la raíz de la *Rubia tictorea*, donde se presenta como glucósido, es decir, como un tipo de azúcar. Industrialmente se prepara fundiendo el antraquinondisulfonato de sodio con soda.

Es un sólido cristalino en forma de agujas prismáticas de color rojo amarillento. Su punto de fusión es 290 °C y el de ebullición es 430 °C. Es muy poco soluble en agua, soluble en alcohol, éter y en los álcalis, con los cuales toma una coloración violeta, con el ácido sulfúrico da un color rojo amarillento.

La alizarina es un colorante adjetivo lo cual quiere decir que no se fija a la tela por sí mismo sino que necesita de un mordiente. La alizarina sirve para teñir algodón, lana y seda. La lana debe ser mordentada por una solución de crémor tártaro y alumbre o bicromato de potasio.

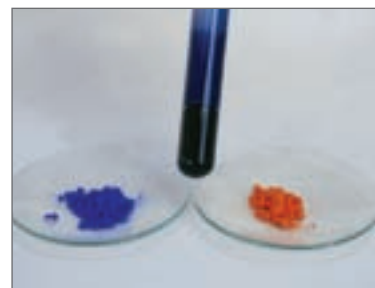


Figura 34. Las quinonas son sustancias muy empleadas como base para la elaboración de colorantes.

EJERCICIO

1. Actualmente se sabe que las sustancias cuyas moléculas poseen dobles enlaces o sistemas de resonancia, presentan colores vivos al ojo humano. Averigua el porqué de esta relación.
2. Consulta sobre el proceso para extraer colorantes a partir de productos naturales. ¿Cuáles contienen quinonas?



Figura 35. El formaldehído o metanal es empleado en la conservación de especímenes.

2.7 Usos y aplicaciones

Como mencionamos anteriormente, los aldehídos y cetonas más importantes a nivel industrial son el formaldehído o metanal, el acetaldehído o etanal y la acetona o propanona.

Durante mucho tiempo se prepararon a partir de los alcoholes metílico, etílico y ácido acético, respectivamente. Posteriormente se descubrieron nuevos métodos, más económicos, que han permitido su producción a nivel industrial.

Estas son algunas de sus principales aplicaciones.

- **Formaldehído:** el formaldehído es un gas incoloro que se disuelve fácilmente en agua.

El formaldehído y el polímero, paraformaldehído, se usan como insecticidas, agentes para fumigación y antisépticos. También es usado en la fabricación de resinas sintéticas y en la síntesis de otros compuestos orgánicos.

Se emplea como desinfectante para espacios cerrados. Como tiene la propiedad de coagular las proteínas y formar con ellas un producto imputrescible es muy empleado por los taxidermistas en los procesos de conservación de piezas anatómicas (figura 35); también puede ser usado para la desinfección de la ropa de los cirujanos y enfermos. Además, se utiliza para endurecer las películas cinematográficas, para realizar el plateado de los espejos y en la preparación de diversas resinas, bakelitas y galatita.

- **Acetaldehído:** el etanal o acetaldehído, como tal, tiene pocas aplicaciones. Por el contrario, es de gran importancia como intermediario en muchas reacciones de síntesis. Por ejemplo, interviene en la formación de ácido acético, por oxidación. Tiene además otras aplicaciones secundarias como agente reductor: en la fabricación de espejos, para prevenir el moho de las frutas almacenadas y como desinfectante o antiséptico en medicina.

- **Benzaldehído:** es un intermediario importante en la preparación de compuestos farmacéuticos, en la industria de colorantes y otros compuestos orgánicos. También es usado como agente aromatizante en perfumería.

- **Acetona:** es la cetona más frecuente e importante. El principal empleo industrial de la acetona es como disolvente, puesto que disuelve muchas sustancias orgánicas, mejor que el alcohol. También se usa como disolvente de resinas, de ceras, grasas y aceites, acetocelulosa, celuloide, etc.

Se emplea también en la fabricación de lacas y colores; en la preparación de cloroformo y de yodoformo; en la gelatinización de las pólvoras sin humo; en la fabricación de las sustancias plásticas del caucho sintético y en la desnaturalización del etanol.

La acetona existe normalmente en la sangre y en la orina, pero es más abundante en ciertas condiciones patológicas como la diabetes y la acetonuria.

- **Acetofenona:** se usa como intermediario de síntesis para la obtención de otros compuestos y en perfumería. Si uno de los átomos de hidrógeno del grupo metilo se sustituye por cloro, se forma la cloroacetofenona $C_6H_5COCH_2Cl$, la cual es usada como gas lacrimógeno.

EJERCICIO

Consulta las aplicaciones de la metil-etilcetona, la vainillina y la benzo-fenona.



Interpreta

- 1 La ubicación de un grupo en una cadena de carbonos determina el nombre de la función química que representa. Menciona el nombre de la función química si el grupo carbonilo, CO, se localiza en un carbono primario o en un carbono secundario. Justifica cada caso con un ejemplo.
- 2 Los aldehídos y las cetonas de igual número de átomos de carbono son isómeros entre sí. Determina si las siguientes parejas de compuestos son isómeros o no.
 - a) 2-butanona y butanaldehído
 - b) 3-heptanona y 1-heptanol
 - c) Decanaldehído y 4-decanona
 - d) 3-octanol y octanal
 - e) Pentanol y ventanal
- 3 La oxidación y la reducción son procesos muy comunes que presentan los aldehídos y las cetonas. En la siguiente tabla indica el nombre de los compuestos que se forman según corresponda:

Compuesto	Oxidación	Reducción
2-pentanona		
Heptanaldehído		
3-heptanona		
Propanal		
Hexanaldehído		
3-hexanona		
Octanal		



Argumenta

- 4 La acetona es el ingrediente principal de los removedores de esmalte para uñas, también se emplea como disolvente de plásticos, grasas y cauchos. Explica:
 - a) ¿Por qué se le da este nombre al primer miembro del grupo de las cetonas?
 - b) ¿Cuál es el nombre de la acetona según la IUPAC?
 - c) ¿A qué se debe la propiedad de disolvente de la acetona?
- 5 En la industria de la perfumería se utilizan productos artificiales para imitar las fragancias naturales. Los perfumes naturales son mezclas de aldehídos y cetonas; los perfumes artificiales son sustancias que se sintetizan en el laboratorio. Responde:

- a) ¿Qué función cumplen los aldehídos y las cetonas en la elaboración de perfumes?
- b) ¿Qué productos sintéticos se utilizan para la elaboración de perfumes?
- c) ¿En qué productos de la naturaleza se encuentran los aldehídos y las cetonas?

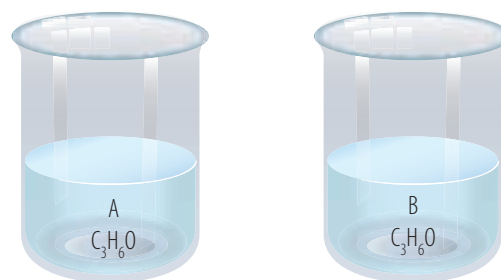
- 6 Las quinonas son un grupo especial de cetonas cuyo comportamiento químico es diferente al que muestran las cetonas alifáticas, por lo tanto, se consideran como un grupo independiente. La hidroquinona es empleada en cosmetología por sus propiedades para desmanchar la piel. Explica:

- a) ¿Qué propiedades de la hidroquinona permiten la acción blanqueadora sobre la piel?
- b) ¿Cuál es la fórmula estructural de la hidroquinona?
- c) ¿En qué otros procedimientos industriales se utiliza la hidroquinona?
- d) ¿Qué nombre Stock recibe la hidroquinona?



Propone

- 7 El grupo carbonilo se encuentra en muchos azúcares, como la glucosa y la fructosa. Responde:
 - a) ¿Cuáles son las fórmulas estructurales y los nombres químicos de estos azúcares?
 - b) ¿Los endulzantes bajos en calorías presentan estas estructuras?
 - c) ¿Qué efectos producen los endulzantes en el organismo?
- 8 Un estudiante olvidó rotular dos frascos A y B, con los nombres de los compuestos que contiene cada uno, pero recordó que la fórmula molecular de ambas sustancias era C_3H_6O . Determina:



- a) ¿Qué tipo de funciones orgánicas son A y B? Justifica tu respuesta.
- b) ¿Qué pruebas de laboratorio se podrían realizar para identificar las sustancias A y B?
- c) ¿Cuál de estas dos sustancias puede oxidarse hasta formar el correspondiente ácido?

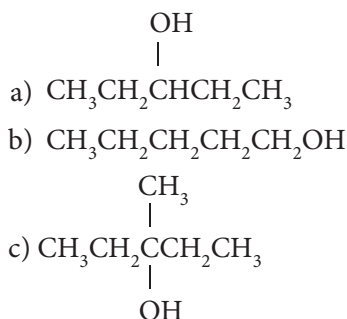


Actividades

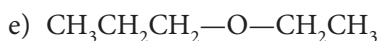
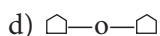
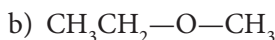
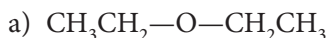


Verifica conceptos

- 1 Clasifica los siguientes alcoholes como primarios, secundarios o terciarios:



- 2 Los éteres pueden considerarse como derivados del agua, donde los átomos de hidrógeno han sido sustituidos por un radical arilo. En los éteres, los dos hidrógenos de la molécula de agua son sustituidos por radicales según la fórmula general $\text{R}-\text{O}-\text{R}$ o $\text{R}-\text{O}-\text{Ar}$. Si los dos grupos R o Ar son iguales, se consideran éteres simétricos, y si son diferentes, se denominan éteres asimétricos. Determina cuáles de los siguientes éteres son simétricos:



- 3 Determina cuáles de los siguientes enunciados son verdaderos:

- ☐ Los éteres se pueden obtener mediante la síntesis de Williamson.
- ☐ La deshidratación del 1-butanol produce dibutiléter.
- ☐ En la reacción del clorobenceno con hidróxido de sodio se obtiene fenol y cloruro de sodio.
- ☐ Las moléculas de fenol forman puentes de hidrógeno entre sí.
- ☐ En la reducción de cetonas se producen alcoholes terciarios.

- ☐ La oxidación del heptanol produce heptanaldehído.
- ☐ Los alcoholes terciarios se caracterizan por su alta reactividad química.
- ☐ La reducción del 2-pentanol produce 2-pentanona.
- ☐ Los alcoholes primarios al reaccionar con el reactivo de Grignard forman aldehídos.
- ☐ En la hidratación del 2-heptanol se obtiene 2-hepteno.



Analiza y resuelve

- 4 El éter dietílico fue usado como anestésico y en la actualidad se utiliza como disolvente de sustancias orgánicas, grasas y aceites. Su punto de ebullición es 36°C y es una sustancia inflamable.

- a) ¿Qué consecuencias produce en el organismo este anestésico?
- b) ¿Por qué esta sustancia presenta baja reactividad química?
- c) ¿Qué precauciones se debe tener en la manipulación de este compuesto?

- 5 A continuación, aparecen tres procesos mediante los cuales se puede sintetizar alcoholes. Para cada caso, escribe los números de los cuadros que contienen los reactivos necesarios y los productos que se obtienen al final del proceso.

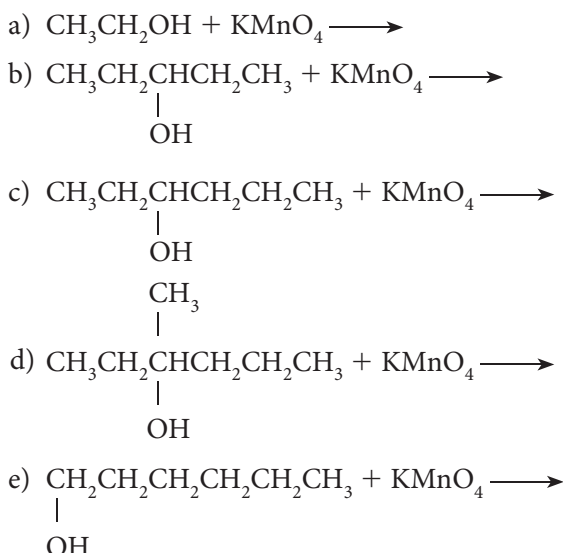
1. $\text{R}-\text{X}$	2. LiAlH_4	3. $\text{ROH} + \text{NaX}$
4. RCHO	5. $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$	6. $\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$
7. H_2O	8. $\text{R}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\text{CH}_3$	9. $\text{R}-\text{CH}_2\text{CH}_2$

- 6 En ocasiones, la deshidratación de alcoholes produce varios alquenos. Representa mediante ecuaciones químicas la deshidratación del 3-metil-2-butanol. Explica la estructura del producto principal y la del producto secundario.



Problemas básicos

- 7 Una de las reacciones más importantes de los alcoholes es la oxidación para producir compuestos carbonílicos. Los aldehídos y los ácidos orgánicos se derivan de la oxidación de alcoholes primarios, y las cetonas de la oxidación de alcoholes secundarios. Completa las siguientes reacciones y asigna el nombre a cada producto:



- 8 La deshidratación de alcoholes es un método que se utiliza para obtener éteres simétricos, de acuerdo con la siguiente ecuación:



Establece las reacciones químicas para obtener:

- a) Dipropiléter d) Dioctiléter
b) Diciclobutiléter e) Diciclopentiléter
c) Dipentiléter
- 9 Consulta las aplicaciones de las siguientes funciones oxigenadas y registra la información en la siguiente tabla.

Funciones oxigenadas	Aplicaciones
Isopropanol	
Fenol	
Glicerol	
Etilenglicol	
Etanol	
Metanol	
Hidroquinona	

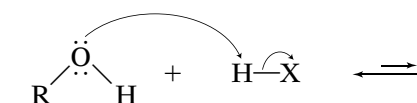


Problemas de profundización

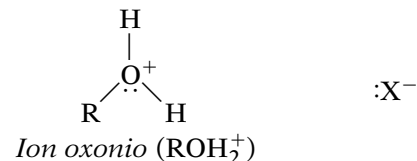
- 10 Las propiedades físicas de los alcoholes se relacionan con la presencia del grupo —OH , el cual les confiere un comportamiento similar al del agua. Explica:

- a) ¿Por qué los alcoholes de cadena corta (entre 1 y 4 carbonos) se disuelven en agua?
- b) ¿Por qué los alcoholes son compuestos polares?

- 11 Los alcoholes se comportan como bases o ácidos débiles según el medio donde se encuentren, a través de procesos de ionización similares a los que experimenta el agua. Como bases débiles, reaccionan de la siguiente manera con ácidos fuertes:



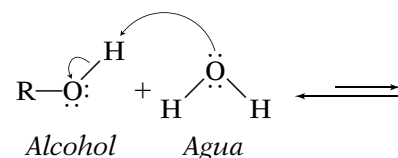
Alcohol (Base débil) Ácido fuerte



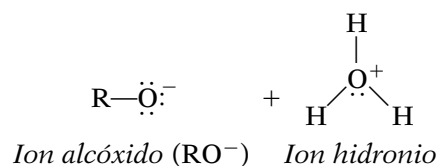
Ion oxonio (ROH_2^+)

Alcohol protonado Base conjugada del ácido fuerte
Ácido conjugado de la base débil

En solución acuosa se comportan como ácidos débiles, disociándose así:



Alcohol Agua



Ion alcóxido (RO^-) Ion hidronio

Explica:

- a) ¿Por qué los alcoholes no reaccionan con ácidos débiles?
- b) ¿Por qué los alcoholes se comportan como ácidos débiles en solución acuosa?



Actividades

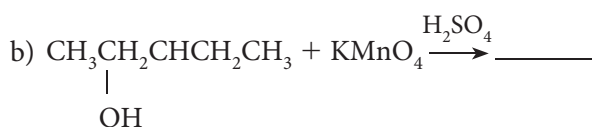


Verifica conceptos

- 1 Con ayuda de la información de la siguiente tabla, plantea tres ecuaciones químicas que representen cada uno de los procesos mencionados para obtener el producto respectivo.

Proceso	Producto
Oxidación de aldehídos	Ácidos carboxílicos
Adición de hidruro de litio y aluminio a aldehídos y cetonas	Alcoholes primarios y secundarios
Adición del reactivo de Grignard	Alcohol secundario

- 2 El grupo carbonilo de los aldehídos y de las cetonas es un grupo que presenta alta reactividad química. Presenta reacciones de adición, sustitución y condensación. Escribe los reactivos o los productos faltantes en las siguientes ecuaciones químicas:



- 3 Dibuja los isómeros estructurales para los siguientes compuestos:

- Aldehídos de fórmula molecular $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$.
- Cetonas de fórmula molecular $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$.
- Aldehídos y cetonas de fórmula molecular $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$.

- 4 Determina la falsedad o la certeza de los siguientes enunciados, escribiendo una F o una C respectivamente:

- ☐ Los alcoholes secundarios se obtienen mediante la oxidación de las cetonas.
- ☐ La oxidación del pentanaldehído produce ácido pentanoico.
- ☐ La reducción del ácido-2-metil hexanoico produce 2-metil-heptanaldehído.
- ☐ En la oxidación del 1-decanol se obtiene 2-decanona.

- ☐ La oxidación de la 3-heptanona produce 3-heptanol.
- ☐ En la reacción del cloruro de etanoilo con benceno se obtienen metilfenilcetona y ácido clorhídrico.
- ☐ La hidroquinona, p-dihidroxibenceno, por oxidación forma p-benzoquinona.

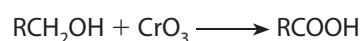
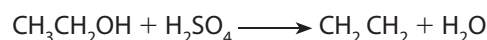
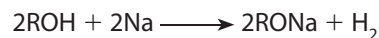


Analiza y resuelve

- 5 Con base en la información que se suministra a continuación, escribe las ecuaciones que ilustren la reacción del 2-butanol y del 3-metil-2propanol con:

- Sodio
- Ácido sulfúrico
- Ácido clorhídrico y cloruro de zinc
- Trióxido de cromo en medio ácido

Comportamiento químico de los alcoholes



- 6 Los aldehídos y las cetonas más importantes a nivel industrial son el formaldehído o metanal, el acetaldehído o etanal y la acetona o propanona.

Consulta algunas de las aplicaciones de estos compuestos y completa la información de la siguiente tabla:

Compuesto	Aplicación
Formaldehído	
Acetaldehído	
Benzaldehído	
Acetona	
Acetofenona	



Problemas básicos

7 Escribe la fórmula estructural de los siguientes compuestos:

- Butanal
- Formaldehído
- 3-metil-3-fenilbutanal
- 3-etil-2,6-heptadiona
- 2,4-pentanodiona
- 3-eno-2-butanona
- 2-metil-2-fenil-4-heptanona
- 1,4-ciclohexanodiona
- 2,2-dimetilciclohexanona

8 Completa las siguientes reacciones:

- $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{HCl}}$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{HCl}}$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COCH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Pt}}$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO} + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{Ni}}$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COCH}_2 + \text{H}_2 \xrightarrow{\text{HCl}}$

9 Los aldehídos fácilmente se convierten en ácidos carboxílicos, mientras que las cetonas son resistentes a la acción de la mayoría de los agentes oxidantes. ¿Qué productos forman los siguientes aldehídos al reaccionar con los reactivos de Tollens y de Fehling?

- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHO} + \text{Tollens}$
- $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO} + \text{Fehling}$
- $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{Tollens}$
- $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{Fehling}$
- $\text{CHOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3 + \text{Tollens}$

10 Plantea las reacciones para obtener los siguientes compuestos:

- | | |
|--------------------|-------------------------|
| a) Heptanaldehído | f) Paradihidroxibenceno |
| b) 3-octanona | g) Benzaldehído |
| c) 2-pentanol | h) Ácido benzoico |
| d) Ácido decanoico | i) 2-butanona |
| e) Etilfenilcetona | j) Etanalmetilimina |



Problemas de profundización

11 Las quinonas son sólidos amarillos o rojos, insolubles en agua, pero solubles en éter, ácidos y bases; cuando se disuelven en ácidos como el sulfúrico, o en bases, forman soluciones con coloraciones especiales, que son empleadas para la fabricación de colorantes. Explica:

- ¿Cómo se extraen los colorantes a partir de sustancias naturales?
- ¿Qué colorantes contienen quinonas?
- ¿Cuál es la fórmula estructural de las quinonas?
- ¿Qué similitud presentan los aldehídos, las cetonas y las quinonas?

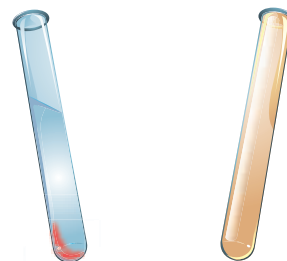
12 El siguiente esquema muestra el proceso que se lleva a cabo en la hidratación de aldehídos y cetonas.

- Reacción general para la acetona.
- Reacción catalizada medio básico.

Responde con base en lo anterior:

- ¿Cómo se denominan los productos intermedios en la hidratación de aldehídos y cetonas?
- ¿Qué función cumplen los iones hidróxido, OH_2^- ?
- ¿Qué ejemplos puedes plantear para explicar la hidratación de cetonas y de aldehídos?

13 Las pruebas de Fehling, Tollens y haloformo se emplean en el laboratorio para identificar los aldehídos y las cetonas. Los resultados de una práctica de laboratorio se muestran a continuación:



Explica, con base en lo anterior:

- ¿Qué compuesto, aldehído o cetona, está presente en el tubo 1?
- ¿Qué compuesto, aldehído o cetona, está presente en el tubo 2?
- ¿Qué reactivos específicos para la identificación de aldehídos y cetonas se utilizaron para esta práctica de laboratorio?

ALCOHOLISMO

Efectos y consecuencias

Desde tiempos remotos el ser humano aprendió a fermentar granos y jugos para obtener bebidas alcohólicas que provocaban un estado alterado de su comportamiento. Existen reportes escritos del uso de cerveza, vinos y otras bebidas alcohólicas que datan de 3.000 años antes de Cristo. El alcoholismo es una enfermedad casi tan antigua como la civilización misma.

Todas las bebidas alcohólicas contienen etanol, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, que es un líquido transparente e incoloro, con un olor característico. El alcohol es una de las sustancias psicoactivas que por su fácil acceso y poderosa propaganda se ha convertido en un problema social para muchos países, donde su consumo se da en todas las edades.

El alcoholismo es considerado una enfermedad crónica, progresiva y a menudo mortal. La Organización Mundial de la Salud (OMS) lo define como la ingestión diaria de alcohol con niveles superiores a 50 g en la mujer y 70 g en el hombre. Una copa de licor tiene aproximadamente 40 g de alcohol, un cuarto de litro de vino, contiene 30 g, y un cuarto de litro de cerveza, 15 g. El alcohol genera una dependencia emocional y a veces orgánica que ocasiona un daño cerebral progresivo e, incluso, la muerte.

Efectos del alcoholismo

Existen dos tipos de intoxicación debida al consumo de alcohol: la intoxicación aguda y la intoxicación crónica. Sus características principales son:

- **Intoxicación aguda.** Es la ocasionada por la ingestión masiva de alcohol. Una vez absorbido, el alcohol es metabolizado y produce en el consumidor diversos síntomas como alteraciones que afectan la percepción de los sentidos, disminución de los reflejos, pérdida del autocontrol con parálisis progresiva de los procesos mentales, falta de coordinación motriz y confusión mental. Si la cantidad de alcohol ingerido sobrepasa los 3 g por litro de sangre se produce un coma y, finalmente, la muerte.



▲ *El licor ha acompañado al ser humano a través de su historia.*

- **Intoxicación crónica.** Provocada por intoxicaciones agudas repetidas, o excesivo y continuado consumo de alcohol. La gravedad de la enfermedad depende del hábito de beber de cada individuo. El beber constantemente y en forma sostenida puede, con el transcurso del tiempo, causar síntomas como dependencia física al alcohol. Estudios en distintas personas alcohólicas han demostrado que factores como la genética, la cultura y la psicología juegan un papel importante en la aparición del alcoholismo crónico.



▲ *El alcohol es un depresor del sistema nervioso central que causa deterioro progresivo e irreversible de las neuronas y las funciones cerebrales.*

Química cerebral y alcohol

El alcohol actúa como un depresivo en el sistema nervioso central y causa en el consumidor relajación y euforia. Es una sustancia que disminuye el funcionamiento del sistema nervioso y afecta al cuerpo rápidamente. Su recorrido por el organismo se puede describir de la siguiente manera:

El alcohol ingerido pasa al estómago; allí es absorbida una pequeña cantidad directamente que pasa al torrente sanguíneo. Luego, el alcohol llega al intestino delgado donde es absorbido en su mayoría y entra directamente a la sangre y, a través de esta, a todos los órganos del cuerpo. En el hígado, se transforma en acetaldehído, agua y dióxido de carbono para ser transportado por la sangre y, finalmente, eliminado en la orina.

El alcohol es una sustancia depresiva que disminuye el funcionamiento del sistema nervioso y afecta al cuerpo rápidamente.

Reflexiono sobre lo leído...

- ¿Por qué el alcohol actúa como un depresor del sistema nervioso central?
- ¿Por qué el alcohol causa dependencia física y psicológica?
- ¿Por qué las mujeres embarazadas no deben consumir bebidas alcohólicas?
- ¿Por qué no se debe consumir alcohol si se va a conducir un vehículo?
- Investiga y debate sobre los factores genéticos asociados al consumo de alcohol.
- Investiga sobre las enfermedades asociadas al consumo de alcohol.

En el cerebro el proceso de razonamiento se disminuye, ya que el alcohol afecta directamente a las neuronas: entre más alta sea la concentración de alcohol ingerido, mayor será el número de neuronas afectadas. El alcohol se metaboliza más lentamente de lo que se absorbe y sus efectos en el organismo duran hasta que todo el alcohol se metaboliza. Por ejemplo, en una persona que pesa 75 kg y ha consumido aproximadamente 12 onzas de cerveza, 5 onzas de vino o un coctel, el metabolismo puede tardar una hora y media.

Químicamente el alcohol afecta a casi todo tipo de células en el cuerpo. En el cerebro, el alcohol interactúa con los centros responsables del placer y de otras sensaciones deseables; después de una exposición prolongada, el cerebro se adapta a los cambios que produce el alcohol y se vuelve dependiente de él. Por eso para las personas con problemas de alcoholismo, beber se convierte en una necesidad hasta el punto de dominar sus pensamientos, emociones y acciones.

El deseo de tomar alcohol durante la abstinencia también se debe a esa adaptación y dependencia del cerebro frente a los cambios en su química causados por el consumo continuo del alcohol a largo plazo.



¿Cómo identificar los alcoholes y los fenoles?

Los alcoholes y los fenoles tienen en su estructura el grupo hidroxilo OH_2 . En los alcoholes este grupo está unido a la cadena alifática y en los fenoles, se encuentra como sustituyente del anillo aromático. En la siguiente práctica realizaremos unas experiencias para observar algunas propiedades físicas y químicas de estas funciones oxigenadas.

Conocimientos previos

Propiedades físicas de los alcoholes y de los fenoles.

Reactivos

- Etanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- Alcohol isopropílico, $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$
- Alcohol bencílico, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}$
- Fenol, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
- Resorcinol, $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$
- Timol, $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}$
- Dicromato de sodio al 1%, $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- Ácido sulfúrico
- Cloruro férrico al 3%, FeCl_3
- Agua destilada

Materiales

- 1 gradilla
- 10 tubos de ensayo
- 1 mechero
- 1 pipeta graduada de 10 mL
- 1 agitador
- Pinzas para tubo de ensayo

Experimento 1: identificación de alcoholes

Procedimiento

1. Vierte 3 mL de solución de dicromato de sodio al 1% en un tubo de ensayo, adiciona tres gotas de ácido sulfúrico.
2. A la solución anterior agrega unas gotas de etanol y calienta a temperatura moderada. Si la solución de color anaranjado se torna verde, indica la presencia de un compuesto fácilmente oxidable como un alcohol primario o secundario (figura 1).
3. Repite los pasos 1 y 2 con los otros alcoholes.



Experimento 2: identificación de fenoles

Procedimiento

1. Vierte unos miligramos de fenol en un tubo de ensayo.
2. Adiciona 1 mL de agua destilada. Para facilitar la solubilidad, puedes agregar 1 mL de etanol.
3. Agrega dos gotas de solución de cloruro férrico al 3%. La formación de un color rojo o de un precipitado oscuro indica la presencia de un compuesto fenólico (figura 2).
4. Repite los pasos 1, 2 y 3 con los demás fenoles.

Análisis de resultados

1. ¿En qué se diferencian las propiedades químicas de los alcoholes y los fenoles?
2. ¿Para qué se utilizan los alcoholes y los fenoles en la vida diaria?
3. ¿Qué reacciones químicas se llevaron a cabo en los experimentos 1 y 2?
4. ¿Cómo influye el anillo aromático en la identificación de los fenoles?



¿Cómo identificar los fenoles y los éteres?

Los fenoles, al igual que los alcoholes poseen un grupo —OH , sin embargo, difieren significativamente en sus propiedades físicas y químicas. Los éteres por su parte son derivados de alcoholes y fenoles, son químicamente inertes. En esta práctica observarás algunas propiedades físicas y químicas de estas dos funciones oxigenadas.

Conocimientos previos

Propiedades físicas y químicas de los fenoles y éteres.

Reactivos

- Fenol, $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
- Etanol, $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
- Éter etílico, $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$
- Solución de cloruro férrico al 3%, FeCl_3
- Cristales de yodo
- Agua de bromo
- Tetracloruro de carbono
- Aceite de oliva
- Manteca
- Cebo

Materiales

- 5 tubos de ensayo
- 1 gradilla
- 1 vidrio de reloj
- 1 balanza
- 1 pipeta graduada de 5 mL



Experimento 1: solubilidad

Procedimiento

1. Coloca muestras de 0,5 g de fenol en tres tubos de ensayo diferentes.
2. Adiciona 1 mL de agua al primer tubo, 1 mL de etanol al segundo y 1 mL de tetracloruro de carbono al tercero. Agita suavemente por un minuto.
3. Registra los resultados en una tabla empleando los grados de solubilidad: soluble, poco soluble e insoluble.
4. Repite el procedimiento anterior, utilizando el éter etílico en lugar de fenol.
5. Coloca pequeñas muestras de cebo, manteca, aceite de oliva, yodo y agua en diferentes tubos de ensayo, y agrega 1 mL de éter a cada tubo. Agita por un minuto y observa los resultados.

Nota: evita el contacto de la piel y los ojos con el fenol, ya que produce quemaduras. En caso de ocurrir, lava la parte afectada con abundante agua y consulta al médico.



Experimento 2: propiedades químicas

Procedimiento

1. Disuelve 0,5 g de fenol en una mezcla formada por 1 mL de agua y 1 mL de etanol.
2. Adiciona a la solución anterior cinco gotas de solución de cloruro férrico al 3%. Registra los resultados obtenidos.
3. Prepara una solución de fenol, agua y etanol con las mismas proporciones del paso 1. Agrega poco a poco cinco gotas de agua de bromo. Observa la formación de un precipitado y escribe tus observaciones.
4. En un vidrio de reloj vierte 1 mL de éter etílico. Debajo del vidrio coloca 1 gota de agua y sopla persistentemente sobre el éter. Describe lo que observas.

Análisis de resultados

1. ¿En cuál de los solventes empleados se disuelve mejor el fenol? Explica tu respuesta.
2. ¿Por qué el fenol se disuelve mejor en etanol que en agua?
3. ¿Cómo se explica el poder disolvente del éter?
4. ¿Qué efecto produce la evaporación del éter sobre la gota de agua?
5. ¿Cómo explicas los resultados obtenidos en las pruebas de solubilidad?



¿Cómo identificar los aldehídos y las cetonas?

Los aldehídos y las cetonas son compuestos que contienen en su molécula el grupo carbonilo, $C=O$. Si el grupo carbonilo está unido a dos radicales alquilo o arilo, el compuesto es una cetona; si está unido a un hidrógeno y a un radical es un aldehído. A continuación realizaremos algunas pruebas para identificar los aldehídos de las cetonas.

Conocimientos previos

Propiedades químicas de los aldehídos y las cetonas.

Reactivos

- Formaldehído
- Acetaldehído
- Acetona
- Benzaldehído
- Nitrato de plata
- Hidróxido de sodio
- Reactivo de Fehling A y B
- Amoníaco

Materiales

- Tubos de ensayo
- 1 pipeta graduada de 5 mL
- 1 gradilla
- 1 mechero
- 1 balanza



Experimento 1: preparación del reactivo de Tollens

Procedimiento

1. Mide 0,3 g de nitrato de plata y disuélvelos en 50 mL agua. Agita hasta completar la disolución. Agrega una lenteja de hidróxido de sodio y agita hasta que se disuelva completamente.
2. Mide 2 mL de amoníaco con la pipeta y agrega gota a gota a la solución anterior hasta que se torne incolora.
3. Rotula el recipiente y déjalo listo para usarlo en el experimento 2.



Experimento 2: pruebas de Tollens y Fehling

Procedimiento

1. Prepara un baño de María a 50 °C.
2. Toma cuatro tubos de ensayo y vierte por separado en cada uno, 1 mL de: formaldehído, acetaldehído, acetona y benzaldehído. Adiciona a cada tubo 2 mL de reactivo de Tollens.
3. Lleva los cuatro tubos al baño de María y déjalos allí durante diez minutos (ver figura). Observa y registra los resultados obtenidos.
4. Repite el procedimiento, agregando a cada tubo 0,5 mL de Fehling A y 0,5 mL de Fehling B. Observa lo que ocurre.

Análisis de resultados

1. ¿Qué reacciones se llevan a cabo con los reactivos de Tollens y de Fehling? Plantea todas las reacciones que ocurren.
2. ¿Por qué los aldehídos son más reactivos que las cetonas?
3. ¿A qué se debe la coloración que se obtiene en cada una de las reacciones?
4. ¿Por qué las cetonas no se oxidan?



¿Cómo diferenciar algunas propiedades físicas de los aldehídos y las cetonas?

Las propiedades físicas de los aldehídos y las cetonas se relacionan con la magnitud de las fuerzas intermoleculares y con el tamaño de la molécula. Los compuestos de bajo peso molecular como el metanal son gases, mientras que los compuestos entre dos y doce carbonos son líquidos. Los más pesados se encuentran en estado sólido. En este laboratorio, observarás algunas de las propiedades físicas de los aldehídos y de las cetonas.

Conocimientos previos

Propiedades físicas de los aldehídos y de las cetonas.

Reactivos

- Propanal
- Acetona
- Etanal
- Benzaldehído
- Tetracloruro de carbono
- Alcohol etílico

Materiales

- 4 tubos de ensayo
- 1 gradilla
- 2 pipetas graduadas de 5 mL

Experimento 1

Procedimiento

1. Vierte en cuatro tubos de ensayo, separadamente 1 mL de: metanal, acetona, etanal y benzaldehído.
2. Observa el estado de cada uno de esos compuestos y describe su olor. Registra tus observaciones en la tabla de resultados que aparece a continuación.
3. Adiciona a cada tubo 1 mL de agua y observa la solubilidad de las diferentes sustancias. Registra los resultados en la siguiente tabla.
4. Repite el procedimiento anterior utilizando como solventes alcohol etílico y tetracloruro de carbono.

Compuesto	Estado de agregación	Olor	Solubilidad en agua	Solubilidad en alcohol etílico	Solubilidad en tetracloruro de carbono
Propanal					
Acetona					
Etanal					
Benzaldehído					
Análisis de resultados					

Análisis de resultados

1. ¿Qué similitudes existen entre las propiedades físicas de los aldehídos y de las cetonas?
2. ¿De qué depende la solubilidad de una sustancia en determinados solventes?
3. ¿Cuáles son los solventes orgánicos más utilizados en la vida diaria?
4. ¿Por qué la acetona remueve algunos esmaltes?
5. ¿En qué estado de agregación se encuentran los aldehídos y las cetonas de bajo peso molecular?



UNIDAD

5

Ácidos carboxílicos y funciones nitrogenadas

Temas de la unidad

1. Ácidos carboxílicos
2. Funciones nitrogenadas



? Para pensar...

Los ácidos carboxílicos, como hemos mencionado pertenecen al grupo de las funciones oxigenadas, ya que presentan un grupo funcional —COOH, conocido como grupo carboxilo. Se trata de compuestos muy importantes a nivel biológico, pues forman parte de sustancias de interés metabólico como el ácido cólico —principal componente de la bilis humana— o los ácidos alifáticos de cadena larga como los ácidos oleico y linoleico, los cuales son precursores biológicos de algunos lípidos, como veremos más adelante.

Industrialmente, se producen anualmente casi dos millones de toneladas de ácido acético al año, para distintos propósitos, incluyendo su uso como materia prima para la elaboración del acetato de vinilo, un polímero muy usado en pinturas y adhesivos.

La importancia de los ácidos orgánicos no sólo radica en las particularidades de su comportamiento químico, sino en la variedad de derivados que producen, entre los cuales se encuentran ésteres, halogenuros de acilo, anhídricos ácidos y amidas. Estas últimas, pertenecen también al grupo de las funciones nitrogenadas, es decir, aquellos compuestos que presentan átomos de nitrógeno en su estructura. Las amidas, aminas, nitrilos y otras funciones nitrogenadas serán el tema de la segunda parte de esta unidad.

Como se puede inferir son muchas las aplicaciones que este grupo de sustancias presenta y por lo tanto también muchas son las razones para conocer algunas ideas relacionadas con naturaleza y el comportamiento químico de estas funciones orgánicas.

• Para responder...

- ¿La importancia biológica e industrial de los ácidos carboxílicos y sus derivados?
- ¿Cómo se preparan los ácidos carboxílicos y sus derivados?
- ¿Cuál es la importancia de los derivados de ácidos carboxílicos en la elaboración de medicamentos?



1. Ácidos carboxílicos

El grupo funcional característico de los ácidos orgánicos es el grupo carboxilo (—C(=O)OH), formado por un grupo carbonilo cetónico y un grupo hidroxilo. El resultado es una función química con un comportamiento particular, como veremos a continuación.

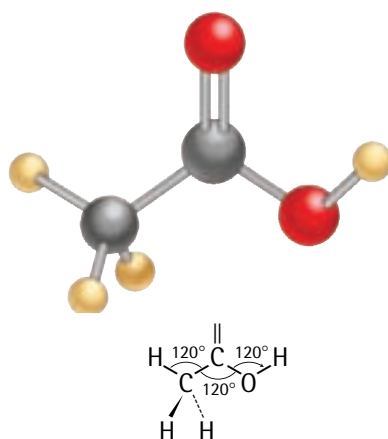


Figura 1. Estructura del grupo funcional carbonilo. Los ángulos de enlace son cercanos a los 120° , dada la hibridación sp^2 del carbono carbonilo.

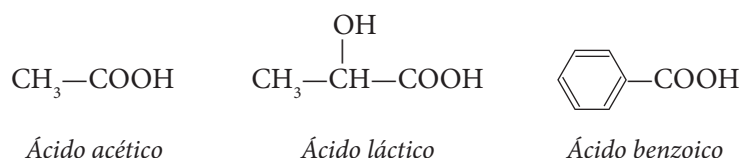
1.1 Estructura del grupo carboxilo

Como sabemos el doble enlace C=O característico del grupo carboxilo, se forma a partir de la hibridación sp^2 del carbono, por lo que presenta una forma planar, sin posibilidades de rotación alrededor del carbono carbonilo. Así mismo, los ángulos de enlace entre el carbono α , el carbono carbonilo, el oxígeno y el grupo OH son cercanos a los 120° (figura 1).

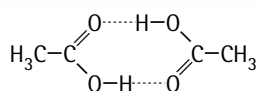
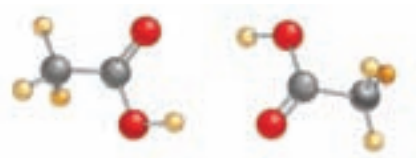
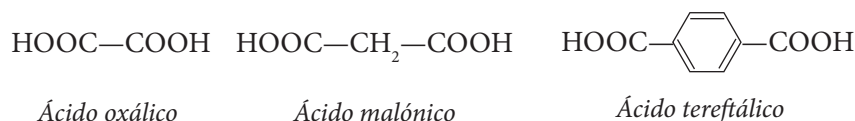
El grupo carboxilo es altamente polar, con una zona negativa alrededor del oxígeno carbonílico y una zona positiva cerca del hidrógeno del grupo hidroxilo. Esta polaridad da lugar a la formación de puentes de hidrógenos similares a los presentes en el agua, de manera que la mayoría de los ácidos en solución, existen como dímeros cíclicos (figura 2).

1.2 Clasificación

■ **Según el número de grupos carboxilo presentes**, los ácidos carboxílicos pueden ser: **mono**, **di**, **tri** o **policarboxílicos**. En el primer caso, la molécula contiene tan sólo un grupo carboxilo y su fórmula general es R—COOH . Entre este grupo tenemos:



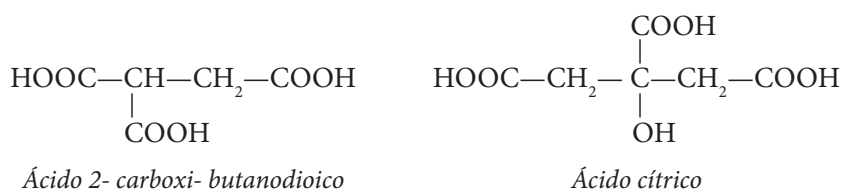
Los ácidos **dicarboxílicos** contienen dos grupos carboxilo y su fórmula general es $\text{HOOC—(CH}_2\text{)}_n\text{—COOH}$. Estos son algunos ejemplos:



Dímero del ácido acético

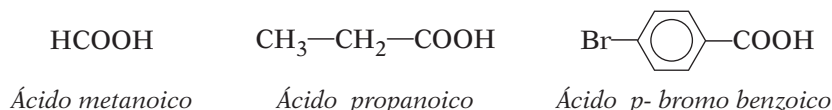
Figura 2. Puentes de hidrógeno entre dos moléculas de ácido acético, responsables de la formación de dímeros cíclicos.

Por último, los ácidos tricarboxílicos y policarboxílicos, poseen tres o más grupos carboxilo:



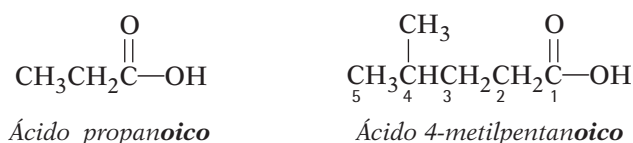


- Según la naturaleza de la cadena carbonada unida al grupo funcional, podemos tener ácidos alifáticos ($R-COOH$) o aromáticos ($Ar-COOH$) (Figura 3). Los siguientes son algunos ejemplos:



1.3 Nomenclatura

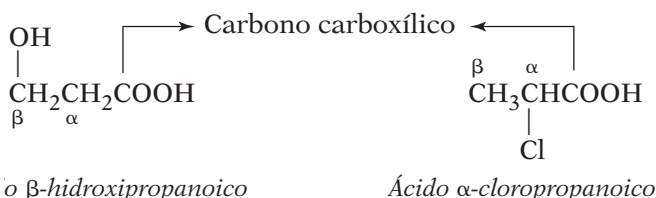
Los ácidos carboxílicos se nombran anteponiendo la palabra **ácido** al nombre del alcano correspondiente y cambiando la terminación **-o** de éste por **-oico**. Para los alifáticos, la cadena más larga es aquella que contiene el grupo carboxilo y el carbono carboxílico se designa con el número 1. Luego se numeran los sustituyentes unidos a la cadena principal de la forma como se hace normalmente, como se muestra en los siguientes ejemplos:



Los ácidos aromáticos se denominan por sus nombres comunes o como derivados del ácido benzoico (C_6H_5COOH).

Muchos ácidos orgánicos se conocen más por sus nombres comunes que por los oficiales, según la IUPAC. Estos nombres fueron acuñados hace muchos años, a medida que nuevos ácidos orgánicos eran aislados y estudiados. Con frecuencia el nombre de una nueva sustancia se derivaba de la fuente de la cual era aislada. Por ejemplo, el ácido fórmico fue aislado de las hormigas (*formica*, en latín), el ácido acético (del latín *acetum* = vinagre) se reconoció como el causante del sabor característico del vinagre y el ácido butírico (del latín *butyrum* = mantequilla) fue extraído por primera vez de la mantequilla rancia (figura 4).

En algunos casos la posición de los sustituyentes en la cadena alifática, se designa con letras griegas, siendo la posición α aquella correspondiente al carbono adyacente al carbono carboxílico:



Los ácidos di, tri y policarboxílicos se nombran utilizando la terminación **dioico**, **trioico**, **pentaoico**, etc., junto a la raíz del nombre del hidrocarburo que contiene el mismo número de átomos de carbono, como el ácido etanodioico ($HOOC-COOH$), derivado del etanol.



Figura 3. Algunos alimentos y condimentos de uso cotidiano contienen ácidos carboxílicos de diversos tipos.

Nombre común	Nombre IUPAC	Estructura
Ác. fórmico	Ác. metanoico	$HCOOH$
Ác. acético	Ác. etanoico	CH_3COOH
Ác. propiónico	Ác. propanoico	CH_3CH_2COOH
Ác. butírico	Ác. butanoico	$CH_3CH_2CH_2COOH$
Ác. valeriánico	Ác. pentanoico	$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$
Ác. caprílico	Ác. decanoico	$CH_3(CH_2)_8COOH$
Ác. palmítico	Ác. hexadecanoico	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$
Ác. benzoico	—	$\text{C}_6\text{H}_5-COOH$
Ác. ftálico	Ác. 1,2-benzenodicarboxílico	$\text{C}_6\text{H}_4(COOH)_2$
Ác. tereftálico	Ác. 1,4-benzenodicarboxílico	$\text{C}_6\text{H}_4(COOH)_2$
Ác. láctico	Ác. 2-hidroxipropoico	$CH_3-CH(OH)-COOH$
Ác. acrílico	Ác. propenoico	$CH_2=CH-COOH$
Ác. succínico	Ác. butanodioico	$CH_2(COOH)_2$

Figura 4. Nombres comunes por los cuales se conocen algunos ácidos carboxílicos de uso frecuente.

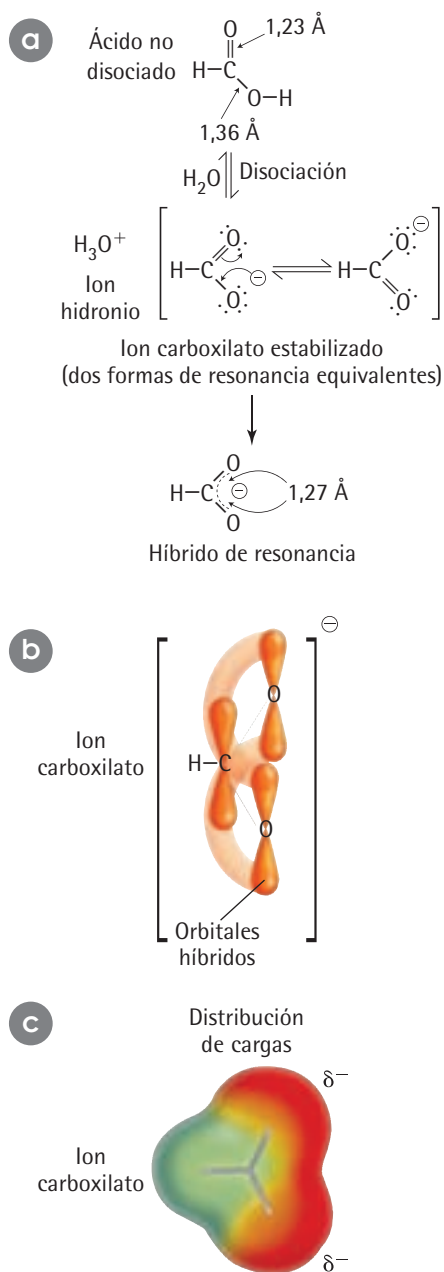


Figura 5. Disociación del ácido fórmico y formación del híbrido de resonancia. a) Disociación. Nota que la longitud de los enlaces C=O y C—O es diferente en el ácido no disociado, mientras que en el ion carboxilato estabilizado, es igual. b) Orbitales p híbridos. c) Distribución de cargas. La carga negativa se distribuye uniformemente alrededor de los dos oxígenos.

1.4 Propiedades físicas

Al igual que otras funciones oxigenadas, las propiedades físicas de los ácidos orgánicos se relacionan con la polaridad y el tamaño relativo de las moléculas.

En cuanto al estado físico, los ácidos alifáticos pequeños, hasta de nueve átomos de carbono, son líquidos. Los de tamaño intermedio son de consistencia aceitosa y los mayores son sólidos cristalinos. En cuanto a los aromáticos y policarboxílicos el patrón es más irregular.

El tamaño de las moléculas también se relaciona con el olor y el sabor de los ácidos. Por ejemplo, los ácidos metanoico, etanoico, butírico y valeriánico presentan sabor agrio y olores fuertes y desagradables. En contraste, los de altos pesos moleculares son inodoros.

La solubilidad en agua es alta para ácidos carboxílicos de cuatro o menos carbonos, moderada para los de cinco carbonos y muy baja para los términos mayores. Las ramificaciones de la cadena carbonada disminuyen la solubilidad del compuesto en agua. La mayoría de los ácidos son solubles en alcohol, debido a la afinidad que se presenta entre las cadenas hidrocarbonadas de unos y otros.

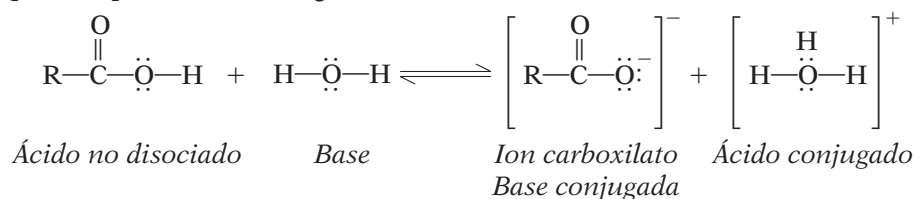
El punto de ebullición de los ácidos aumenta proporcionalmente con el peso molecular. Su valor es más alto que el correspondiente para alcoholes con peso molecular semejante, debido a la fuerza de los puentes de hidrógeno entre los grupos carbonilo e hidroxilo del grupo —COOH. Por ejemplo, el ácido fórmico hierve a 100,5 °C, mientras que el alcohol etílico lo hace a 78 °C. Ambos tienen un peso molecular de 46 u.m.a.

1.5 Acidez

La naturaleza ácida de los compuestos carboxílicos se relaciona con la ruptura del enlace O—H del grupo hidroxilo y la posterior estabilización del anión resultante, denominado **ion carboxilato**. Entre más estable sea este ion, mayor será la fuerza ácida del compuesto. La estabilización se relaciona con la formación de un sistema de orbitales p híbridos, resonantes, entre el carbono carbonilo y los dos oxígenos unidos a éste, de manera similar a como ocurre entre los enlaces dobles de la molécula de benceno (figura 5).

1.5.1 Constante de acidez

La reacción de disociación de un ácido carboxílico cualquiera en agua se puede representar de la siguiente manera:



El proceso de disociación es reversible y la constante de equilibrio, en este caso la **constante de acidez**, K_a , es una medida de la magnitud de la disociación y por tanto de la fuerza ácida de un compuesto. La expresión para dicha constante es:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{R}-\text{COO}^-]}{[\text{R}-\text{COOH}]}$$



De donde, $pK_a = -\log K_a$

Recordemos que cuanto mayor es el grado de disociación, mayor es el valor de K_a y más fuerte es el ácido. Contrariamente, el valor de pK_a disminuye entre más fuerte sea el ácido.

Los ácidos orgánicos presentan valores de K_a del orden de 10^{-5} . Esto significa que sólo el 0,1% de las moléculas, en una solución 0,1 M se encuentran disociadas, en contraste con el 100% que presentan los ácidos inorgánicos fuertes, como el HCl.

En la figura 6 se compara la fuerza ácida y el pK_a de un alcohol, un ácido carboxílico y un ácido inorgánico.

La razón por la cual los ácidos carboxílicos son ácidos más fuertes que los alcoholes se relaciona con la estabilidad de anión carboxilato, a diferencia del ion alcóxido que es menos estable pues no forma híbridos de resonancia (figura 7).

1.5.2 Efecto de los sustituyentes sobre la acidez

Se ha observado que la presencia de sustituyentes sobre el carbono α tiene un efecto importante sobre la fuerza ácida de los ácidos orgánicos. Este fenómeno se conoce como **efecto inductivo** y puede ocurrir en dos sentidos: aumentando o disminuyendo la acidez. Esto depende de dos factores: la electronegatividad relativa de los sustituyentes y la distancia de los mismos al grupo carbonilo.

Con respecto al primer factor, los elementos o grupos más electronegativos que el oxígeno (como los halógenos) se comportan como atractores de electrones, por lo que disminuyen la carga parcial negativa de los oxígenos carbonílicos. Como resultado de esto, el enlace O—H se hace más débil y por tanto, la disociación es mayor. En conclusión, los sustituyentes electronegativos o aceptores de electrones, aumentan la acidez.

Por el contrario, si el o los sustituyentes son poco electronegativos o donadores de electrones (como los radicales alquilo), la carga parcial negativa de los oxígenos carbonílicos aumenta y en consecuencia la retención del hidrógeno del grupo O—H es más fuerte, por lo que la disociación es menor. Todo lo anterior hace que los ácidos orgánicos con sustituyentes que se comporten como donadores de electrones son menos ácidos que sus equivalentes no sustituidos (figura 8).

El número de sustituyentes presentes es directamente proporcional a la magnitud del efecto inductivo. Así, el ácido cloroacético, con un sólo sustituyente, es menos ácido ($pK_a = 2,85$) que el dicloroacético ($pK_a = 1,48$), y éste es menos ácido que el tricloroacético ($pK_a = 0,64$) (figura 9).

Finalmente, entre más distante se encuentre un sustituyente con respecto al carbono α , su efecto inductivo será menor. En la figura 9 se muestran los valores de pK_a para los ácidos 2, 3 y 4-clorobutanoico, tomando como referencia el ácido butanoico no sustituido. Recuerda que entre mayor es el pK_a , menor es la acidez.

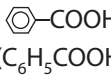
Compuesto	Estructura	pH	% de ionización
Ácido clorhídrico 0,1 M	HCl	1,0	100
Ácido benzoico 0,1 M	 (C ₆ H ₅ COOH)	2,6	2,5
Ácido acético 0,1 M	CH ₃ COOH	2,9	1,3
Fenol 0,1 M	 (C ₆ H ₅ OH)	5,4	0,0032
Etanol	CH ₃ CH ₂ OH	7,0	0,0001
Agua	H ₂ O	7,0	0,001

Figura 6. Acidez relativa de diferentes compuestos orgánicos.

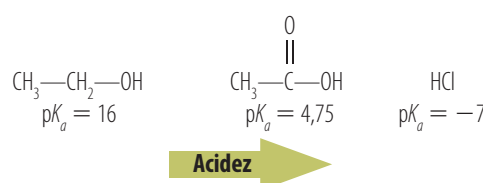


Figura 7. Las diferencias en la acidez de los ácidos orgánicos e inorgánicos se evidencian fácilmente al registrar el pH de estas sustancias con un papel indicador universal.

Compuesto (estructura)	K_a	pK_a	Ácidos fuertes
F ₃ C—COOH	0,59	0,23	
FCH ₂ —COOH	$2,6 \cdot 10^{-3}$	2,59	
ClCH ₂ —COOH	$1,4 \cdot 10^{-3}$	2,85	
H—COOH	$1,77 \cdot 10^{-4}$	3,75	
CH ₃ —COOH	$1,76 \cdot 10^{-5}$	4,75	
CH ₃ CH ₂ —COOH	$1,34 \cdot 10^{-5}$	4,87	
(CH ₃) ₃ C—COOH	$9,4 \cdot 10^{-6}$	5,03	
			Ácidos débiles

Figura 8. Efecto de diferentes sustituyentes sobre la acidez. Los compuestos están ordenados de acuerdo con la electronegatividad y el número de los sustituyentes, desde los más electronegativos, con mayor número de sustituyentes, hasta los menos electronegativos y menos sustituidos.

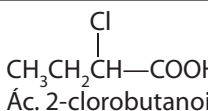
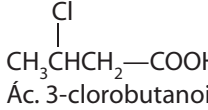
Compuesto y estructura	pK_a
 Ác. 2-clorobutanoico	2,86
 Ác. 3-clorobutanoico	4,05
Cl—CH ₂ CH ₂ CH ₂ —COOH Ác. 4-clorobutanoico	4,52
CH ₃ CH ₂ CH ₂ —COOH Ác. Butanoico	4,82

Figura 9. Efecto de la distancia entre un sustituyente y el carbono α .



EJERCICIO

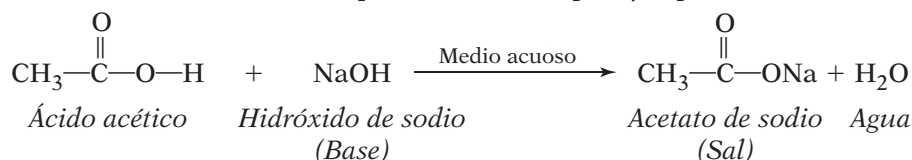
1. Explica por qué los ácidos carboxílicos presentan puntos de ebullición más altos que los correspondientes hidrocarburos.
2. ¿Por qué los ácidos de bajos pesos moleculares presentan olor y sabor fuerte, mientras que los más pesados no?
3. Escribe la ecuación y el nombre de los productos cuando reaccionan el ácido propanoico y el alcohol metílico. ¿A qué grupo de reacciones del grupo carboxilo corresponde este ejemplo?

1.6 Propiedades químicas

Las reacciones típicas de los ácidos carboxílicos pueden involucrar la ruptura del enlace O—H o de la unión C—OH. En el primer caso, se presenta una disociación ácida, como la hemos descrito anteriormente, por lo que un ácido carboxílico puede reaccionar con una base para formar una sal, en una reacción de **neutralización**. En el segundo caso, se produce una **sustitución nucleofílica** sobre el carbono carbonilo. Dependiendo del grupo que realice el ataque nucleofílico se pueden obtener diferentes compuestos, como **ésteres**, **amidas**, **halogenuros de ácido** o **anhídridos**. Todos los anteriores se conocen como **derivados de ácidos carboxílicos** y se tratarán con más detalle más adelante.

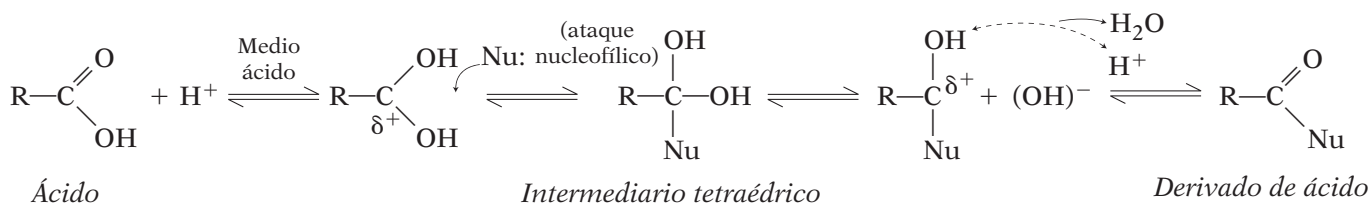
1.6.1 Formación de sales

Tal como ocurre con los ácidos inorgánicos, los ácidos carboxílicos reaccionan con las bases para formar sales, por ejemplo:



1.6.2 Reacciones de sustitución nucleofílica

Estas reacciones son, por lo general, catalizadas por ácidos, puesto que la protonación del oxígeno carbonílico hace al carbono carbonilo más electropositivo y, por tanto, más vulnerable al ataque nucleofílico. El proceso de sustitución es similar a la adición nucleofílica típica de aldehídos y cetonas, sólo que en este caso, el intermediario tetraédrico es inestable y da lugar a un nuevo compuesto carbonílico, luego de la expulsión del grupo OH inicial, del ácido. En general, el proceso se puede representar de la siguiente manera:



El nucleófilo, Nu⁻ puede ser:

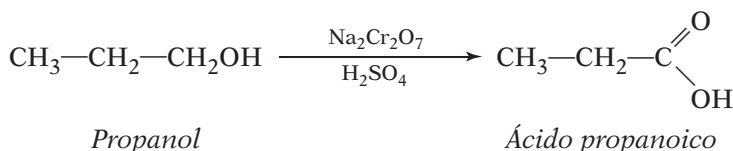
- Un grupo OR', proveniente de un alcohol (R'OH), caso en el cual se forma un éster, $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{OR}'$
- Un halógeno, como Cl, Br o F, con lo cual se forma un haluro o halogenuro de ácido.
- Un ion carboxilato proveniente de otro ácido o de una sal orgánica, dando como resultado un anhídrido de ácido, $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{R}'$
- Un grupo NH₂, derivado de algún compuesto nitrogenado, por ejemplo, amoníaco, caso en el cual se forma una amida, $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$



1.7 Preparación

1.7.1 Oxidación

La oxidación de alcoholes primarios, aldehídos, bencenos sustituidos o algunos alquenos, da como resultado la formación de ácidos carboxílicos. Los alcoholes primarios se deben tratar con CrO_3 o $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ en medio ácido (figura 10), mientras que los aldehídos se oxidan con CrO_3 en medio ácido y bajo la presencia de iones de plata.



Finalmente, la oxidación de bencenos sustituidos y de algunos alquenos se realiza con KMnO_4 o con dicromato de sodio, en medio ácido:

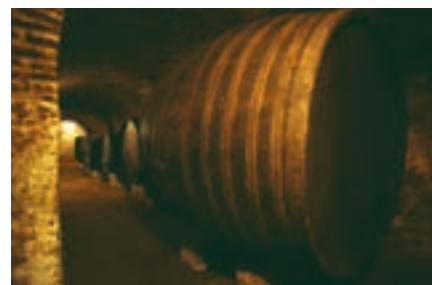
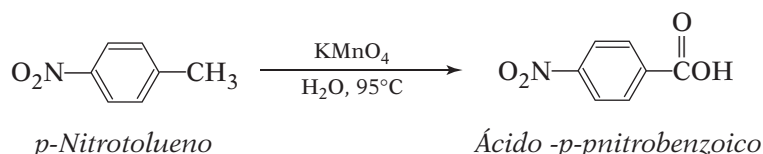
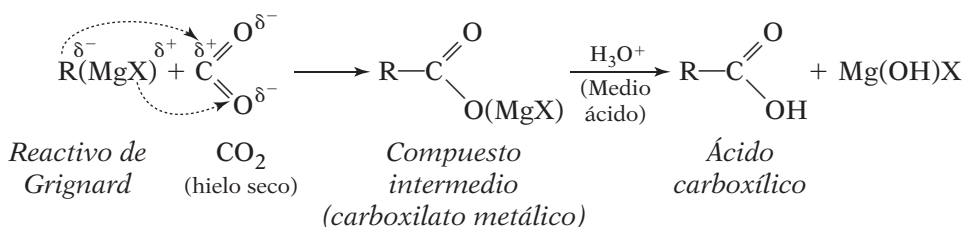


Figura 10. La oxidación del vino, por acción del oxígeno del aire, es lo que ocasiona el “avinagramiento” de esta bebida. Se trata de la conversión de etanol (un alcohol) en ácido acético.

1.7.2 A partir de reactivos de Grignard

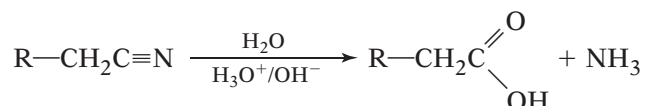
Los reactivos de Grignard (RMgX) reaccionan con CO_2 , generalmente sólido —en forma de hielo seco— a través de una adición nucleofílica. En este tipo de reacciones, el grupo R del compuesto de Grignard ataca el carbono del CO_2 que posee una carga neta positiva, produciendo un compuesto intermedio, que es un carboxilato metálico. Luego, ocurre la protonación del oxígeno unido al complejo $(\text{MgX})^+$, dando lugar al ácido. El proceso general se muestra a continuación:



Este método permite obtener ácidos carboxílicos alifáticos y aromáticos, escogiendo el reactivo de Grignard que contenga el grupo R que se desee adicionar al ácido que se va a sintetizar. Por ejemplo, si se desea sintetizar ácido benzoico ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$), se debe emplear un reactivo cuyo grupo R sea un radical de benceno, como el cloruro de fenilmagnesio ($\text{C}_6\text{H}_5\text{—MgCl}$).

1.7.3 Hidrólisis de nitrilos

Los nitrilos, $\text{R—C}\equiv\text{N}$, se hidrolizan dando como producto el ácido carboxílico correspondiente al grupo R. La reacción ocurre en solución acuosa con pH fuertemente ácido o básico y en caliente. Los nitrilos se pueden obtener fácilmente a partir del ion cianuro (CN^-) y un haluro de alquilo (R—X):



EJERCICIO

Empleando el método de Grignard, escribe la ecuación para la obtención de ácido hexanoico.



Compuesto	K_1	K_2
HOOC—COOH Ác. oxálico o etanodioico	$3.200 \cdot 10^{-5}$	$5,2 \cdot 10^{-5}$
HOOC—CH ₂ —COOH Ác. malónico o propanodioico	$1.300 \cdot 10^{-5}$	$0,2 \cdot 10^{-5}$
HOOC—(CH ₂) ₂ —COOH Ác. succínico o butanodioico	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$0,25 \cdot 10^{-5}$
<i>cis</i> —HOOC—CH=CH—COOH Ác. maleico o <i>cis</i> -buten-2-dioico	$1.000 \cdot 10^{-5}$	$0,05 \cdot 10^{-5}$
<i>trans</i> —HOOC—CH=CH—COOH Ác. fumárico o <i>trans</i> -buten-2-dioico	$100 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-5}$

Figura 11. Constantes de disociación de algunos ácidos dicarboxílicos. Observa las diferencias entre los valores de K_1 y K_2 .

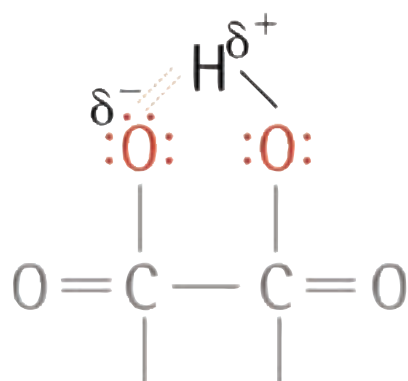


Figura 12. Formación de puentes de hidrógeno entre el $O\delta^-$ de carboxilato y el $OH\delta^+$ del ácido no disociado.

1.8 Ácidos dicarboxílicos

Se ha observado que el primer grupo carboxilo generalmente es más ácido que el segundo, especialmente en los casos en los que los dos grupos se encuentran próximos (figura 11). Esto se debe a las interacciones polares que se dan entre el extremo disociado y el no disociado, en la forma de puentes de hidrógeno (figura 12).

Las reacciones químicas de los ácidos dicarboxílicos son similares a las de los monocarboxílicos, siendo las más comunes, la formación de sales y ésteres.

El ácido **oxálico** o **etanodioico** (HOOC—COOH) y el ácido **succínico** o **butanodioico** son ejemplos de ácidos dicarboxílicos de importancia económica y bioquímica.

El ácido oxálico es uno de los ácidos orgánicos más fuertes. Se prepara industrialmente por fusión alcalina del formiato de sodio (HCOONa) y posterior acidificación del producto.

En la naturaleza se encuentra en plantas, líquenes, mohos, helechos y algas, en forma de cristales de sal, como oxalato de calcio. En la industria se emplea en las lavanderías como quitamanchas; en el estampado de tejidos, como mordiente, y en la fabricación de tintas y de colorantes.

El ácido succínico y sus derivados se emplean en la fabricación de lacas y barnices, en perfumería y en medicina. Bioquímicamente interviene en importantes rutas metabólicas.

1.9 Derivados de los ácidos carboxílicos

1.9.1 Reactividad

La reacción más importante de los derivados de ácidos orgánicos es la

sustitución nucleofílica. La fórmula general compuestos es: $R-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-Y$ donde

Y puede ser cualquiera de los siguientes grupos: OR' , X, $O-\overset{\overset{O}{\parallel}}{C}-NH_2$, R'' .

El resto de la molécula se conoce como radical **acilo**.

Durante la sustitución, luego de la formación del intermediario tetraédrico, el grupo Y se comporta como un **grupo saliente**, es decir, que es expulsado fácilmente de la molécula. Esto es debido a la repulsión del oxígeno del acilo sobre Y. El resultado es su remplazo por otro grupo, y la formación de un nuevo compuesto carbonílico (figura 13).

Recordemos que la reacción típica de aldehídos y cetonas es la adición nucleofílica, en la cual también se forma un intermediario tetraédrico. En este caso, sin embargo, el equivalente al grupo Y (H, para aldehídos y R, para cetonas) no se comporta como grupo saliente, por lo que el resultado es una adición, en lugar de una sustitución nucleofílica en el grupo acilo.

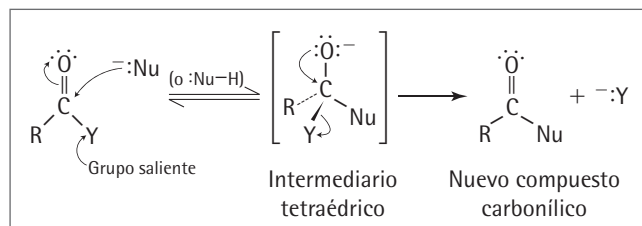


Figura 13. Reacción de sustitución nucleofílica en la cual, el grupo saliente Y es remplazado por Nu.



La reactividad de los derivados de ácidos orgánicos disminuye por la presencia de sustituyentes sobre el carbono α , debido a la obstrucción que estos grupos hacen sobre el carbono carbonilo, dificultando el ataque nucleofílico sobre éste (figura 14).

Por otro lado, no todos los derivados de ácidos tienen la misma reactividad. Esta propiedad depende de la electro-negatividad del grupo Y. Por ejemplo, en los halogenuros, la alta electronegatividad del halógeno hace que el carbono carbonilo posea una carga más positiva que la del carbono carbonilo en una amida, pues el grupo NH_2 no es tan electro-negativo. Por lo tanto, los halogenuros son más susceptibles de sufrir ataques nucleofílicos sobre el carbono carbonilo (figura 15).

La reactividad relativa entre derivados hace posible la conversión de unos en otros, sólo en un sentido: desde los más reactivos hacia los menos reactivos. En la figura 16 se muestran las transformaciones entre derivados y entre éstos y otros compuestos orgánicos como aldehídos, cetonas y alcoholes.

Una consecuencia importante de lo anterior es que los ésteres y las amidas son comunes en la naturaleza, mientras que los demás derivados, al experimentar fácilmente reacciones de sustitución con el agua, no pueden existir en los seres vivos.

1.9.2 Propiedades físicas

Punto de ebullición

La posibilidad de formar puentes de hidrógeno y la fuerza relativa de los mismos determinan los puntos de ebullición de los derivados de ácidos orgánicos, para pesos moleculares similares (figura 17).

Las amidas son sólidas a temperatura ambiente, como se puede inferir de sus altos puntos de ebullición. Esto se debe a la formación de puentes de hidrógenos muy fuertes entre los hidrógenos del grupo NH_2 y el oxígeno carbonilo. En contraste, los ésteres no forman puentes de hidrógeno, lo que se ve reflejado en sus bajos puntos de ebullición.

Solubilidad

Las moléculas pequeñas son solubles en agua, y a medida que aumenta el peso molecular, la solubilidad disminuye. Los ésteres son solubles en alcohol y éter.

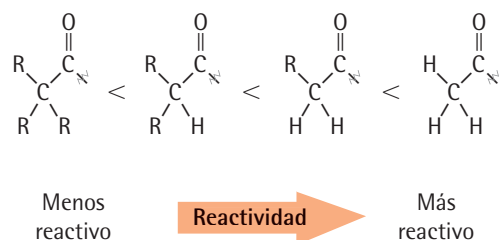


Figura 14. Reactividad relativa de derivados no sustituidos y mono a tri-sustituidos.

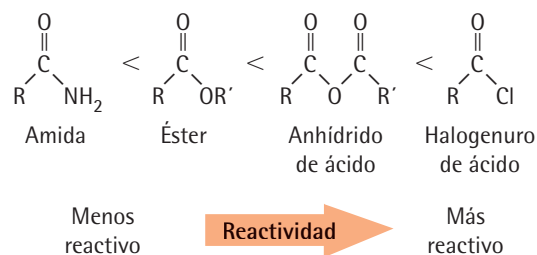


Figura 15. Reactividad relativa entre los diferentes derivados de ácidos.

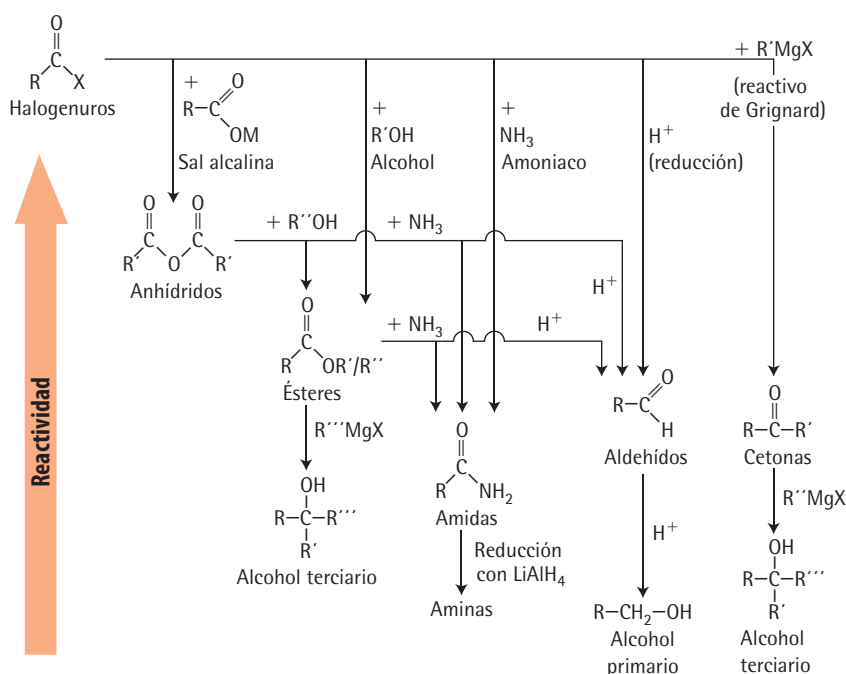


Figura 16. Conversiones entre derivados de ácidos y otros compuestos orgánicos, partiendo de halogenuros de ácido.

Halogenuros	>	Ésteres	>	Ácidos carboxílicos	>	Anhídridos	>	Amidas
Cloruro de acetilo		Acetato de etilo		Ácido acético		Anhídrido acético		Acetamida
52 °C		77,1 °C		118 °C		140 °C		222 °C

Figura 17. Puntos de ebullición para los diferentes derivados del ácido acético.

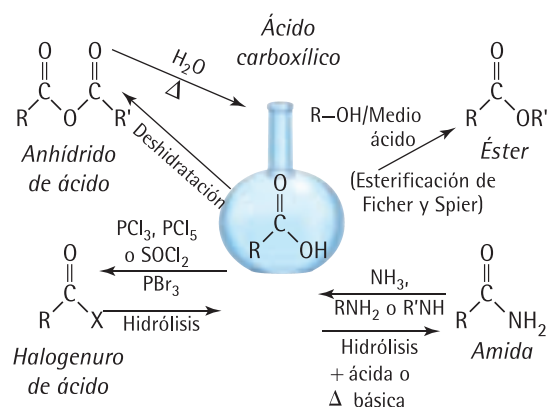


Figura 18. Resumen de las formas como se obtienen derivados de ácidos a partir de ácidos orgánicos. Nota que la mayoría son reacciones reversibles.

Otras propiedades

En cuanto a otras propiedades, los ésteres de bajo peso molecular, se caracterizan por su volatilidad y por presentar olores dulces y agradables, mientras que los términos superiores son inoloros, sólidos, de consistencia oleosa y aspecto céreo o grasoso. El olor característico de muchas frutas se debe a la presencia de ésteres.

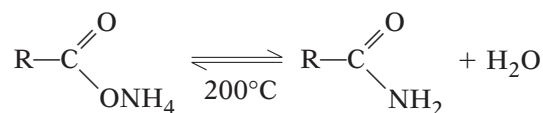
Los haluros suelen ser tóxicos, especialmente los de cloro, de bajo peso molecular y volátiles, pues reaccionan con agua formando ácido clorhídrico. Los anhídridos presentan olores picantes y sofocantes. Las amidas son sustancias que se comportan como bases o ácidos débiles según el medio de reacción por lo que se dice que son de carácter **anfótero**. La nomenclatura de los derivados de ácido se puede observar en la figura 19.

1.9.3 Obtención

En la figura 18 se resumen las reacciones que tienen lugar para la formación de derivados de ácidos, a partir de ácidos. Como ya vimos (figura 16), los diferentes derivados de ácidos se pueden obtener también a partir de halogenuros de ácido.

Una de las reacciones más importantes a nivel industrial es la **esterificación de Fisher y Spier**, desarrollada hacia 1895. Consiste en el calentamiento de una solución de ácido orgánico, en metanol o etanol, con una pequeña cantidad de ácido inorgánico (generalmente H_2SO_4) como catalizador. Recordemos que

en medio ácido la carga positiva alrededor del carbono carbonilo es mayor, lo que facilita el ataque nucleofílico por parte del ion alcóxido proveniente del alcohol. Es una reacción reversible, por lo que el equilibrio puede desplazarse hacia cualquiera de los dos sentidos, eligiendo las condiciones de reacción apropiadas. Así por ejemplo, la formación del éster se ve favorecida cuando se usa exceso de alcohol, mientras que la formación del ácido se propicia con exceso de agua. Las amidas también se pueden preparar por deshidratación de sales de amonio, según la reacción:



Sal de amonio

Amida

1.9.4 Saponificación

La **saponificación** es una reacción típica de los ésteres, mediante la cual se prepara jabón. La saponificación de un éster consiste en tratar el éster con una base alcalina (NaOH o KOH) hasta ebullición. La reacción general se puede expresar de la siguiente manera:

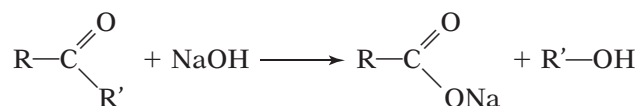


Figura 19. La tabla resume las reglas para nombrar derivados de ácidos carboxílicos.

Derivado	Nomenclatura	Ejemplos
Halogenuro $R-C(=O)X$	(nombre del halógeno + sufijo -uro) + (nombre del acilo + sufijo -oilo o -ilo)	Bromuro de benzoilo: Cloruro de acetilo:
Anhídridos Simétricos Asimétricos	Anhídrido + nombre del ácido Anhídrido + nombre del ácido 1 + nombre del ácido 2	Anhídrido acético: $H_3C-CO-O-OC-CH_3$ Anhídrido acético-benzoico: $H_3C-CO-O-OC-C_6H_5$
Amidas $R-C(=O)NH_2$	nombre del acilo + sufijo -amida o carboxamida	Acetamida: Ciclopentano-carboxamida:
Ésteres $R-C(=O)OR'$	nombre del acilo + sufijo -ato + "de" + nombre del radical R'	Aceato de etilo:



1.10 Usos y aplicaciones

1.10.1 Ácidos carboxílicos

En la siguiente tabla se resumen los usos de algunos ácidos orgánicos.

Ácido	¿Cómo se obtiene?, ¿de dónde se extrae?	¿Para qué se usa?
Fórmico o metanoico	Se encuentra en algunos insectos como las hormigas (a quienes debe su nombre) y en las abejas.	Se emplea en la síntesis de ésteres, sales, plásticos y ácido oxálico. También se usa como mordiente para tejidos de lana o de algodón en lugar del ácido acético o del sulfúrico.
Acético o etanoico	Puede ser producido por la fermentación de varios zumos de frutas como las uvas, manzanas, etc.	Es el principal componente del vinagre. Diluido del 5 al 10% se emplea como condimento. También se utiliza en la preparación de algunos colorantes, como disolvente de esencias, en la fabricación de pinturas y adhesivos con base en acetato de vinilo, como detenedor en fotografía, en la obtención de acetato de celulosa y como medicina se emplea como antídoto contra los álcalis (en solución al 6%).
Benzoico	Se encuentra en las resinas y bálsamos de benjui, de Tolú y del Perú.	Es un sólido incoloro, débilmente ácido. Se emplea como intermedio en síntesis orgánica y su sal sódica —el benzoato de sodio— se emplea como antiséptico y conservador de alimentos. Se dice que activa la eliminación del ácido úrico y es antirreumático. También puede ser empleado en la industria de colorantes, en la fabricación de dentífricos y como expectorante y diurético. La procaína y la novocaína que son derivados del ácido paraminobenzoico se emplean como anestésicos locales.
Cítrico	Se puede considerar como uno de los ácidos más abundantes en la naturaleza. Se encuentra especialmente en las frutas del género citrus, en la remolacha, en las cerezas y en las cebollas. Se obtiene en grandes cantidades por un proceso de fermentación del almidón o de las melazas.	Es empleado para dar sabor ácido a productos alimenticios y bebidas refrescantes. Los citratos alcalinos se usan en la preparación de productos farmacéuticos contra la gota y el reumatismo. También se usa como laxante y anticoagulante.

1.10.2 Sales

En la siguiente tabla se resumen los usos de las sales más importantes:

Sal	Usos
Acetato de sodio: CH_3COONa	Se emplea para preparar soluciones buffer, reguladoras del pH y en la fabricación de jabones y productos farmacéuticos.
Acetato de plomo: $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$	Llamado azúcar de plomo, por su sabor dulce, se aplica externamente para combatir algunas enfermedades de la piel.
Propionato de calcio: $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca}$	Se añade al pan para prevenir el enmohecimiento.
Lactato de calcio y citrato amónico férrico	Se emplean como suplementos de hierro y calcio en la dieta.
Oxalato de potasio: $\text{KOO} \text{---} \text{COOK}$	Se emplea como anticoagulante en muestras de sangre, durante análisis clínicos.
Sal sódica del ácido salicílico	Se puede usar como antipirético y como analgésico en casos de reumatismo y artritis.

1.10.3 Anhídridos

Los anhídridos se emplean como agentes de acilación en la preparación de ésteres, a partir de los alcoholes. Por ejemplo, el **anhídrido acético** se emplea en la síntesis de aspirina (figura 20).

El **anhídrido ftálico** que proviene de la condensación de dos moléculas de ácido ftálico, es un producto orgánico que se emplea en grandes cantidades como plastificante de resinas sintéticas y en la manufactura de recubrimientos contra la intemperie.

Finalmente, los anhídridos también se usan como deshidratantes.



Figura 20. La aspirina tiene como principal componente el éster acético del ácido salicílico.

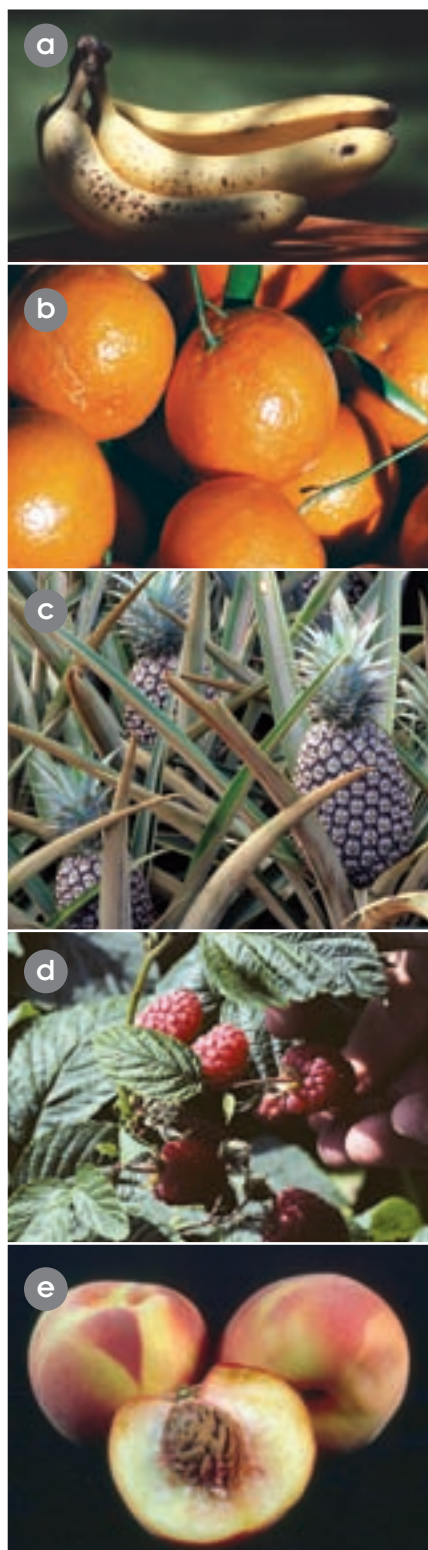


Figura 21. Los ésteres sintéticos son usados como aromatizadores de alimentos. Los más conocidos son: a) Acetato de amilo (plátano); b) acetato de octilo (naranja); c) butirato de etilo (piña); d) butirato de amilo (albaricoque) y e) formiato de isobutilo (frambuesa).

1.10.4 Ésteres

Comercialmente, el **acetato de etilo** y el **acetato de butilo**, son los ésteres más importantes (figura 21). Son usados como disolventes para nitrocelulosa y como materia prima en la fabricación de lacas.

Otros ésteres de mayor peso molecular son empleados como plastificantes. En medicina, son usados en el tratamiento de diversas dolencias. Por ejemplo, el acetato de etilo es estimulante y antiespasmódico en irritaciones cólicas y bronquiales. En aplicación externa se emplea para el tratamiento de enfermedades dermatológicas, causadas por parásitos.

Un tercer compuesto de suma importancia es el ácido **acetilsalicílico** y su forma estérica, principales componentes de la aspirina. Este medicamento posee una fuerte acción antiséptica, analgésica y antipirética. La aspirina se usa también contra el reumatismo y la gota.

Una gran cantidad de medicamentos para el tratamiento de dolores de cabeza contienen aspirina combinada con otros agentes farmacológicos. Así mismo, la adición de antiácidos y agentes tamponantes, facilita la absorción de la aspirina por el tracto intestinal e impide que esta pueda tener efectos perjudiciales sobre el recubrimiento interno del estómago.

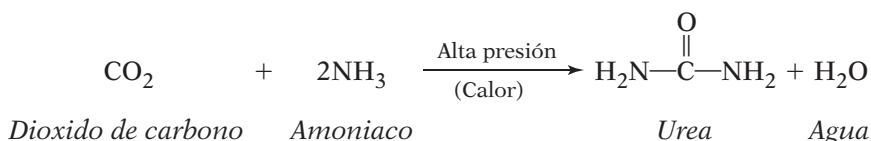
Finalmente, los **poliésteres** —polímeros de ésteres— son plásticos de gran difusión en el mundo. Uno de los más importantes son las **resinas acrílicas**, polímeros de ésteres del **ácido acrílico**, como el **acrilato de metilo** y el **metacrilato de metilo**. A través de la polimerización del metacrilato de metilo se obtiene un material transparente que puede sustituir al vidrio, al ser flexible y más liviano.

El **dacrón**, otro poliéster, se obtiene del **tereftalato de dimetilo** y el **etilenglicol**.

1.10.5 Amidas

La amida más importante es la **urea**, $\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$, una diamida, proveniente del ácido carbónico, que se encuentra en los organismos vivos.

Fue sintetizada por **Wöhler** en 1828 y sirvió como principio para el desarrollo de la química orgánica. La urea se obtiene haciendo reaccionar el dióxido de carbono con amoníaco, bajo presión y temperatura elevadas:



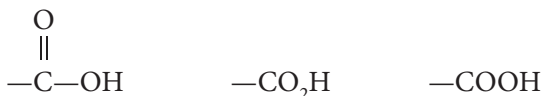
Uno de los usos industriales más importantes de la urea es su condensación en medio básico, con **malonatos de dietilo sustituidos** para producir los sedantes conocidos como **barbitúricos**. También se emplea como fertilizante, en la industria de plásticos con metanal y aserrín de madera, como diurético y contra la gota y el reumatismo.

Para terminar, las poliamidas, como el **nailon**, se obtienen por condensación del **ácido adípico** con **hexametilendiamina**. El nailon es un material muy resistente debido a la formación de puentes de hidrógeno intramoleculares. A ello se debe su gran tenacidad y resistencia a la abrasión. Es usado en la elaboración de alfombras y partes de maquinaria, como ruedas dentadas que no requieren lubricación.



Interpreta

- 1 Las siguientes son las diferentes formas como se puede representar el grupo carbonilo:



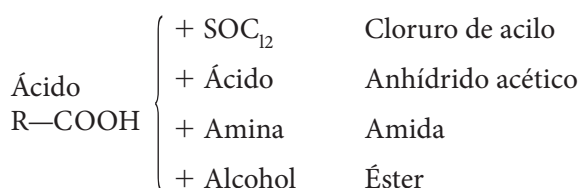
Respecto al grupo carbonilo determina:

- El número de enlaces polares que posee.
 - Clase de enlace presente.
 - Número de electrones en el oxígeno carbonílico.
- 2 El ácido fórmico es un componente presente en la picadura de algunas hormigas, el ácido acético es responsable del olor a vinagre, el ácido butírico contribuye al fuerte olor de la mantequilla rancia y el ácido láctico se produce cuando se agria la leche. Escribe la fórmula estructural de cada uno de estos ácidos y determina su nomenclatura según las normas de la IUPAC.

- 3 Los ácidos carboxílicos por poseer la capacidad para formar puentes de hidrógeno, debido a sus enlaces O—H, generan una atracción fuerte entre moléculas.

Explica cómo se relaciona esta característica frente a la solubilidad del ácido acético en agua.

- 4 El siguiente diagrama ilustra las reacciones que presentan los ácidos carboxílicos.



A partir de él, escribe las ecuaciones químicas que muestren las reacciones del ácido propanoico con el cloruro de tionilo y el metanol.



Argumenta

- 5 Los ácidos carboxílicos tienen el comportamiento de ácidos débiles, pero de mayor fuerza que los fenoles y los alcoholes. Al reaccionar con metales o con bases fuertes producen las sales correspondientes y si reaccionan con sales básicas se libera dióxido de carbono. Por ejemplo:

Explica:

- ¿Por qué los ácidos carboxílicos son de mayor fuerza que los alcoholes y los fenoles?
- ¿Qué diferencias existen entre un ácido fuerte y un ácido débil? ¿Qué diferencias existen entre los ácidos orgánicos y los ácidos inorgánicos?

- 6 Los ácidos orgánicos pueden considerarse como derivados de la oxidación de los hidrocarburos en dos etapas; la primera generaría el alcohol y la segunda, el aldehído y la cetona. Escoge un hidrocarburo y plantea las reacciones que se llevan a cabo hasta obtener el correspondiente ácido. Explica tu respuesta.

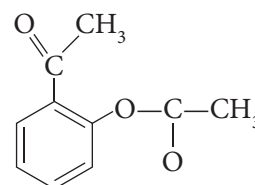


Propone

- 7 El deterioro de los alimentos causado por microorganismos se puede retardar durante cierto período de tiempo mediante sustancias químicas que, entre otros efectos, producen la muerte de los microbios por inanición al impermeabilizar sus membranas celulares.

- Determina qué ácidos orgánicos se utilizan para impedir este proceso.
- Diseña un experimento mediante el cual puedas comprobar la acción de estos ácidos.

- 8 La aspirina, conocida también como ácido acetil salicílico, posee una fuerte acción antiséptica, analgésica y antipirética. Gran cantidad de medicamentos la contienen para el tratamiento de dolores de cabeza combinada con otros agentes farmacológicos. Explica:



- ¿Para qué enfermedades se recomienda el uso de este medicamento?
- ¿Cómo se facilita la absorción de la aspirina por el tracto intestinal?
- ¿Por qué se recomienda la aspirina a personas con problemas circulatorios?
- ¿La aspirina es un ácido, al ingerirla produce problemas gástricos? Justifica tu respuesta.

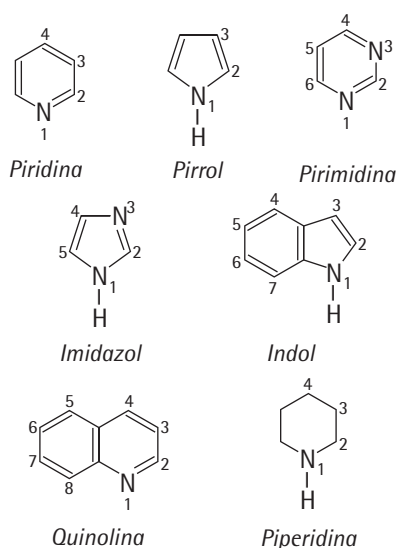


Figura 22. Algunas aminas heterocíclicas.

2. Funciones nitrogenadas

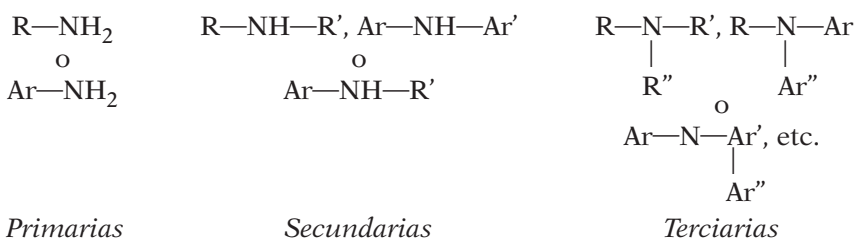
Los compuestos nitrogenados, como *aminas* y *nitrilos*, se caracterizan porque, además de carbono e hidrógeno, contienen nitrógeno. En la naturaleza se encuentran formando parte de los seres vivos, en proteínas, alcaloides, vitaminas y hormonas. Industrialmente son importantes en la elaboración de colorantes.

2.1 Aminas

Las **aminas** son compuestos que resultan de la sustitución de uno o más átomos de hidrógeno en el amoniaco, por radicales alquilo (alifáticos) o arilo (aromáticos). El grupo funcional característico de las aminas se denomina **amino** y se representa como (—NH_2). La fórmula general de una amina es: R—NH_2 , si es alifática, o Ar—NH_2 , si es aromática.

2.1.1 Clasificación

Como acabamos de mencionar, existen aminas alifáticas y aminas aromáticas. Adicionalmente, las aminas se pueden clasificar teniendo en cuenta el número de átomos de hidrógeno que se han sustituido en el amoniaco, como aminas **primarias**, **secundarias** y **terciarias**:

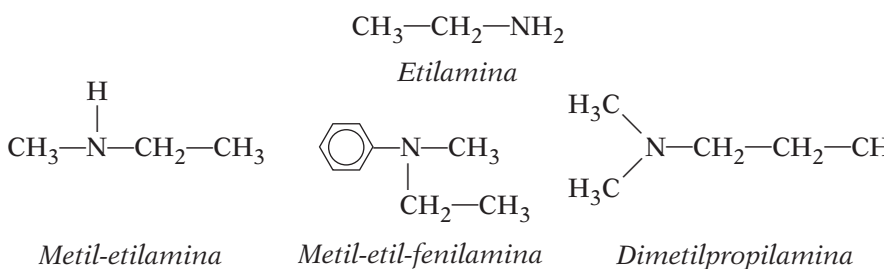


Podemos encontrar aminas mixtas, es decir, que poseen sustituyentes arilo y alquilo, sobre el mismo átomo de nitrógeno.

Por último, existen **aminas heterocíclicas**, en las cuales, el nitrógeno se encuentra formando parte de una estructura cíclica (figura 22).

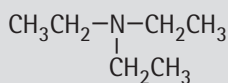
2.1.2 Nomenclatura

Las aminas se nombran anteponiendo a la palabra amina, los nombres de los sustituyentes presentes. Si los radicales sustituyentes son iguales, se emplean los prefijos **mono**, **di** o **tri**, según el caso. Cuando los radicales son diferentes se nombran comenzando por el más sencillo de ellos. Veamos algunos ejemplos:

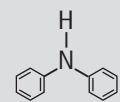


EJERCICIO

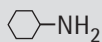
Clasifica las siguientes aminas como primarias, secundarias, terciarias o heterocíclicas:



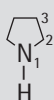
Trietilamina



Difenilamina



Ciclohexilamina



Pirrolidina



2.1.3 Propiedades físicas

En general las propiedades de las aminas dependen del grado de sustitución sobre el nitrógeno, que determina la posibilidad de formar puentes de hidrógeno entre el o los hidrógenos del grupo —NH_2 y un extremo δ^- de otra molécula, por ejemplo, el oxígeno del agua o el nitrógeno de otra amina (figura 23).

Las aminas terciarias han sustituido todos los hidrógenos por otros grupos, por lo que no pueden formar enlaces de hidrógeno y se comportan como moléculas generalmente apolares, similares a hidrocarburos.

Si bien, los puentes de hidrógeno entre aminas son menos fuertes que aquellos presentes entre compuestos oxigenados —dada la alta electronegatividad del oxígeno—, estas fuerzas explican la solubilidad de las aminas de bajo peso molecular en agua y otros solventes polares.

Por el contrario, las aminas de alto peso molecular (mayores de seis carbonos) son insolubles en agua, pero solubles en solventes apolares (orgánicos), pues en ellas, la parte apolar de la molécula predomina sobre la sección polar.

La posibilidad de formar puentes de hidrógeno también se relaciona con los puntos de ebullición de las aminas primarias y secundarias, cuyos valores son mayores que aquellos correspondientes a aminas terciarias e hidrocarburos de peso similar. Por ejemplo, dietilamina (P. M. = 71,1 u.m.a.) ebulle a 56,3 °C, mientras que el pentano (P. M. = 72,1 u.m.a.) tiene un punto de ebullición igual a 36,1 °C.

En cuanto a estado de agregación, las aminas pequeñas, como la metilamina y la etilamina son gases, mientras que aquellas de tamaño intermedio son líquidas y las superiores, sólidas.

Las aminas, especialmente aquellas de bajo peso molecular, tienen olores fuertes y penetrantes, similares al amoníaco. Por ejemplo, la trimetilamina presenta un característico olor a pescado, mientras que la 1,5-pentandiamina o cadaverina, se forma durante la putrefacción de los cadáveres de animales, dando lugar al característico olor de la carroña.

2.1.4 Propiedades químicas

Estructura molecular

El átomo de nitrógeno en las aminas posee una hibridación sp^3 y dos electrones desapareados, por lo que estos compuestos presentan una estructura tetraédrica, similar a la del metano, en la cual, el centro lo constituye el nitrógeno y los cuatro vértices forman ángulos de 109° entre sí. Los tres sustituyentes (R, Ar o H) se ubican en los vértices de la base, mientras que los electrones desapareados ocupan el vértice superior del tetraedro (figura 24a).

Esta arquitectura debería generar la presencia de isómeros, pues las imágenes especulares de dos tetraedros no se pueden superponer. Sin embargo, los isómeros se intercambian fácilmente entre sí, por lo que en la naturaleza se encuentran mezclados y no es posible aislar uno del otro (figura 24b).

Finalmente, el par de electrones que posee el átomo de nitrógeno de las aminas, hace que se comporten como nucleófilas, como veremos más adelante.

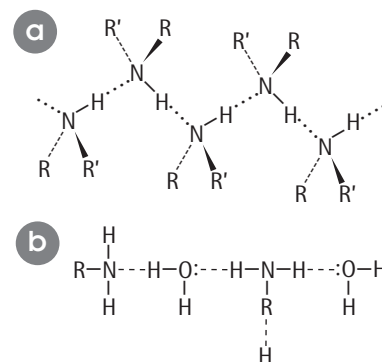


Figura 23. Puentes de hidrógeno entre diferentes moléculas de una amina y entre ésta y moléculas de agua.

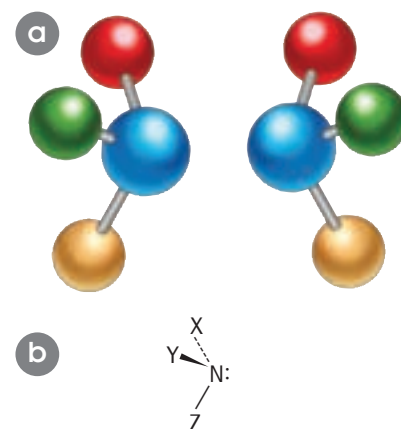


Figura 24. a) Estructura tetraédrica de las aminas. X, Y y Z representan los diferentes sustituyentes y/o hidrógenos que pueden estar unidos al átomo de nitrógeno. b) Isómeros especulares. Ambas estructuras se intercambian entre sí rápidamente, por lo que se consideran equivalentes.

EJERCICIO

1. ¿Por qué las aminas de bajo peso molecular son gases, mientras que, a medida que aumenta el tamaño, son líquidas y sólidas?
2. ¿En qué otros grupos funcionales se observa esta tendencia?
3. Las aminas de elevado peso molecular no tienen olor, ¿por qué?



Amina	pK_b
Amoníaco	4,74
Metilamina	3,36
Dimetilamina	3,28
Ciclohexilamina	3,33
Anilina	9,40

Figura 25. Valor de pK_b para algunas aminas, tomando al amoníaco como punto de partida.

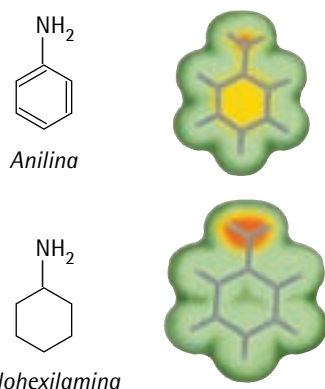


Figura 26. Distribución de la densidad electrónica en las moléculas de anilina, una amina aromática y la ciclohexilamina, no aromática. Nota que la densidad electrónica alrededor del nitrógeno es mayor en el segundo caso que en el primero.

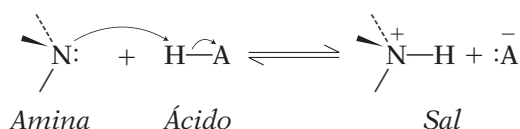
Basicidad

Las aminas, gracias al carácter nucleófilo del nitrógeno, se comportan como aceptoras de protones o iones H^+ . Esto las convierte en bases según la definición Brönsted-Lowry. Cuando se encuentran en solución acuosa, se establece un equilibrio en el cual el agua actúa como ácido, donando un protón que es aceptado por la amina. La constante de equilibrio, que en este caso es la **constante de basicidad**, K_b , indica la fuerza básica de una amina. Sin embargo, es más común comparar la basicidad a partir del valor de pK_b ($-\log K_b$). Así, entre menor sea el pK_b , el compuesto será más básico (figura 25). Las aminas son bases fuertes, con valores de K_b de orden 10^{-4} a 10^{-5} , siendo más básicas que otros compuestos orgánicos, como alcoholes y ésteres.

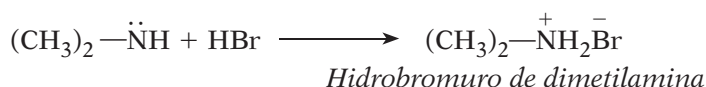
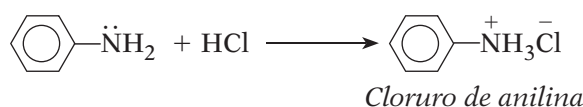
Los diferentes sustituyentes del nitrógeno pueden afectar la basicidad relativa de las aminas. Las aminas alifáticas son más básicas que el amoníaco y que las aminas aromáticas, debido a que los electrones del nitrógeno son retenidos por el anillo aromático, disminuyendo el carácter nucleófilo de la molécula (figura 26).

Formación de sales

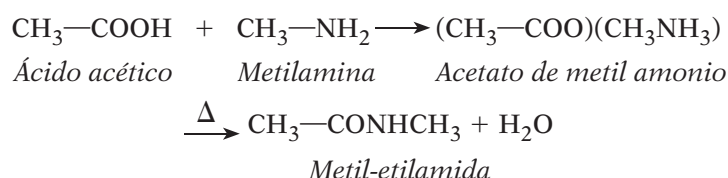
Una consecuencia del carácter básico de las aminas es que reaccionan con ácidos —tanto orgánicos, como inorgánicos— para formar sales:



Veamos algunos ejemplos:



Las sales derivadas de ácidos orgánicos se pueden deshidratar luego para formar la amida correspondiente:



Acilación y alquilación

La **acilación** es la incorporación de un grupo amino ($-\text{NH}_2$, $-\text{RNH}$ o RNR') a un **acilo**, mientras que la **alquilación** es la incorporación de un grupo amino a un radical **alquilo**. En el primer caso, el acilo puede provenir de un **ácido** carboxílico, un halogenuro de ácido, un anhídrido o un éster y el producto es una amida, que puede ser sustituida o no, dependiendo del compuesto de origen (figura 27). En el segundo caso, el grupo alquil proviene de un halogenuro de alquilo ($\text{R}-\text{X}$) y se forma una amina más sustituida que la anterior (figura 28).

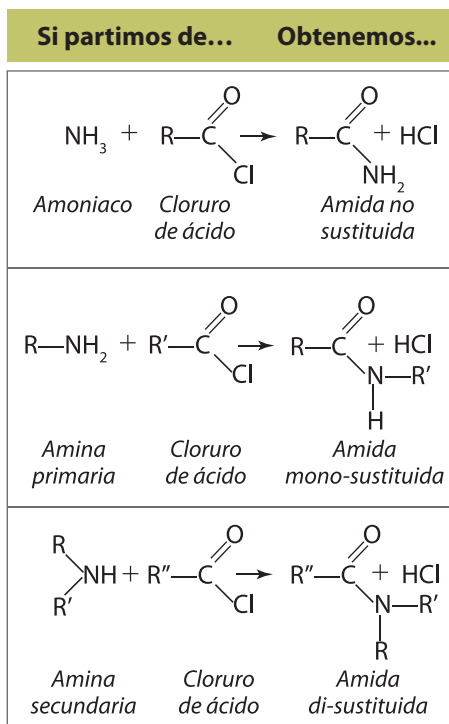
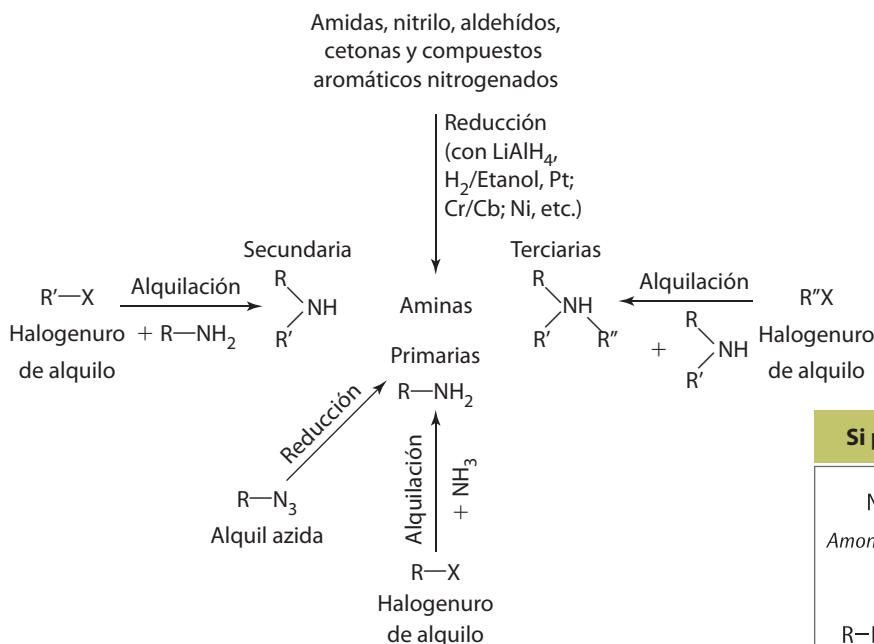


Figura 27. Acilación de aminas. Los productos son amidas con diferentes grados de sustitución.



2.1.5 Métodos de preparación

En el siguiente esquema se resumen los principales métodos para la obtención de aminas.



La alquilación (figura 28) es una de las técnicas más importantes, pues, dependiendo de las concentraciones y proporciones de los reactivos, así como de las condiciones físico-químicas mantenidas durante la reacción (por ejemplo: disolvente utilizado, temperatura, catalizadores, etc.), es posible definir el grado de sustitución de la amina resultante. Este método se conoce como **síntesis de Hofmann**.

2.1.6 Usos y aplicaciones

Las aminas tienen múltiples aplicaciones en diversos campos, desde la preparación de agentes reveladores en fotografía, colorantes, jabones y desinfectantes, hasta compuestos activos en drogas, herbicidas, fungicidas e insecticidas. A continuación hablaremos principalmente del uso de las aminas en la medicina y en la fabricación de colorantes.

Aplicaciones en medicina

Entre las plantas y los animales se encuentran distribuidas una amplia variedad de aminas con propiedades medicinales. Por ejemplo, la **quinina** es un importante antipalúdico aislado de la corteza del árbol suramericano llamado *Chinchona* y, la **reserpina**, es un agente contra la hipertensión que se aísla del *Rauwolfia serpentina*, arbusto originario de la India.

Por otro lado, los **alcaloides**, compuestos nitrogenados de origen vegetal, son conocidos desde la antigüedad como **álcalis vegetales**, dado su carácter básico. El **opio**, del cual se obtienen numerosos alcaloides, como **morfina**, **heroína** y **codeína**, se extrae de la amapola o adormidera, *Papaver somniferum* (figura 29). Esta droga es un potente inhibidor del dolor. Sus propiedades analgésicas se conocen y han sido utilizadas, por lo menos desde el siglo XVII, sin embargo, produce una fuerte adicción. Actualmente, la codeína —éter metílico de la morfina— se usa en medicamentos contra la tos.

EJERCICIO

1. ¿Cuál es el grupo funcional característico de las amidas?
2. ¿Cuál es la diferencia entre un radical acilo y uno alquilo?
3. Consulta la estructura de las siguientes sustancias: fenobarbital, ampicilina, cimetidina y determina su relación con las aminas.

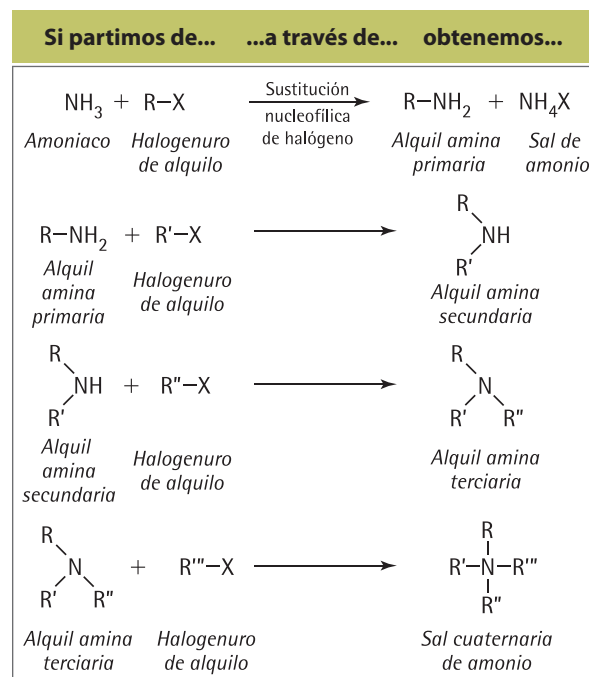


Figura 28. Alquilación de aminas. Los productos son aminas con un mayor grado de sustitución. Este procedimiento se conoce como síntesis de Hofmann.

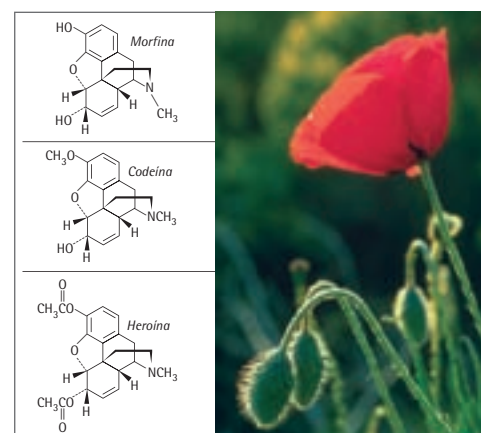


Figura 29. El opio se extrae de los botones de las flores de la amapola. Es la principal fuente de morfina, heroína y codeína.



Figura 30. Las tientes minerales de colorantes son muy variadas, por ejemplo, el bermellón, pigmento rojo obtenido del cinabrio, es un mineral de mercurio y azufre, y el azul de azurita, se deriva de la azurita, un carbonato de cobre.

Colorantes

Hasta mediados del siglo XIX los colorantes empleados eran exclusivamente de origen natural. Con el tiempo, se ha logrado obtener artificialmente la mayoría de estas sustancias y, es así como, en la actualidad se dispone de una increíble oferta de colorantes sintéticos.

• Colorantes naturales

Pueden ser de origen mineral (figura 30), vegetal o animal (figura 31). Entre los colorantes vegetales, algunos ejemplos son: la **alizarina**, extraída de la raíz de la *Rubia tinctorum*, el **índigo** o **añil**, conocido en Egipto, hace 3.500 años a. de C., proviene de la *Indigofera tinctoria* y la **hemateína** y la **hematoxilina**, que se obtiene del *palo de campeche*. Algunos insectos como la cochinilla y moluscos como calamares y jibias son fuentes de colorantes animales, como el cochinil y el sepia, respectivamente.

• Colorantes sintéticos

Químicamente, las aminas aromáticas son la materia prima fundamental en la preparación de colorantes sintéticos o artificiales. Muchos de ellos son derivados del alquitrán, como la alizarina artificial, el ácido pícrico, la anilina y los derivados de ésta, como los compuestos azoicos.

Los colorantes sintéticos se clasifican en: **polares** (ácidos o básicos), **sustantivos** y “**al mordiente**”. Los primeros se adhieren a los materiales a través de interacciones iónicas, los sustantivos lo hacen por **adsorción**, mientras que los últimos requieren de una sustancia adicional, llamada **mordiente**.

Los **nitrocolorantes** son colorantes polares. Se trata de derivados nitrados o polinitrados de los fenoles, en los cuales uno de los sustituyentes está en posiciones orto o para. Pertenecen a este grupo el ácido pícrico, el amarillo de Martius.

Los **colorantes azoicos** son colorantes sustantivos y se caracterizan porque poseen el grupo funcional **azo** ($-\text{N}=\text{N}-$). Se producen a través de una reacción conocida como **diazoción**, en la cual, el ácido nitroso reacciona con la anilina, para formar una sal de diazonio. Para obtener el colorante, la sal de diazonio (cuya forma general es $\text{Ar}-\text{N}^+ \text{N}^- \text{X}^-$), debe reaccionar con otro compuesto aromático, por ejemplo, un fenol o una arilamina:

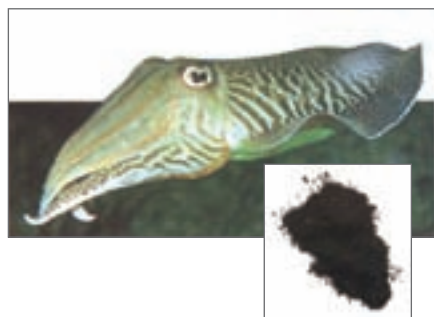
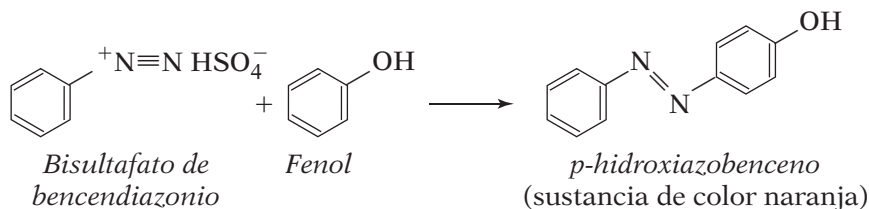


Figura 31. Colorantes de origen animal, como el sepia, se obtienen de la jibia. De otros moluscos como el calamar se extraía tinta, de un órgano llamado “bolsa de la tinta”.



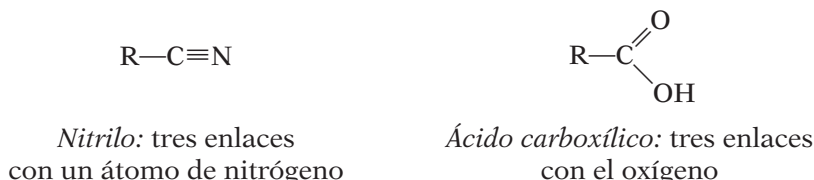
El proceso de formación del grupo azo, se conoce como **copulación** y es una reacción característica de las sales de diazonio.

Los **colorantes al mordiente** no se fijan de manera estable a las fibras porque son demasiado solubles. Para salvar este obstáculo hay que tratarlos, cuando están en contacto con la tela, con sales de aluminio, hierro o estaño, tanino o ácido tartárico, entre otros. De esta manera se obtiene una laca insoluble formada por el colorante, el mordiente y la fibra. Uno de los colorantes aplicado de esta manera es la alizarina.



2.2 Nitrilos

Los **nitrilos** son compuestos nitrogenados que resultan de la unión de un radical alquílico con el grupo **nitrilo** ($-\text{C}\equiv\text{N}$). También pueden considerarse como derivados del primer miembro de la serie denominado metanonitrilo o ácido cianhídrico ($\text{HC}\equiv\text{N}$) por sustitución del átomo de hidrógeno con diferentes radicales alquílicos o arílicos ($\text{R}-\text{C}\equiv\text{N}$ o $\text{Ar}-\text{C}\equiv\text{N}$). Estructuralmente el grupo funcional nitrilo es similar al grupo carboxilo, por lo que los nitrilos son, con frecuencia, considerados como derivados de ácidos carboxílicos. Esta similitud radica en que, en ambos casos, el carbono del grupo funcional presenta tres enlaces con un elemento más electronegativo, como el oxígeno, en el grupo carboxilo y el nitrógeno, en el nitrilo:



2.2.1 Nomenclatura

Los nitrilos se nombran anteponiendo a la palabra nitrilo el nombre del hidrocarburo del cual provienen. Por ejemplo: propano nitrilo ($\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{N}$). Nota que el nombre del hidrocarburo incluye el carbono del grupo funcional. También se pueden nombrar como derivados del cianuro. Por ejemplo: cianuro de etilo ($\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{N}$).

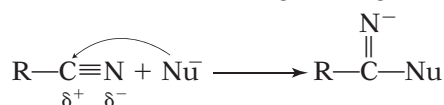
2.2.2 Propiedades

Físicas

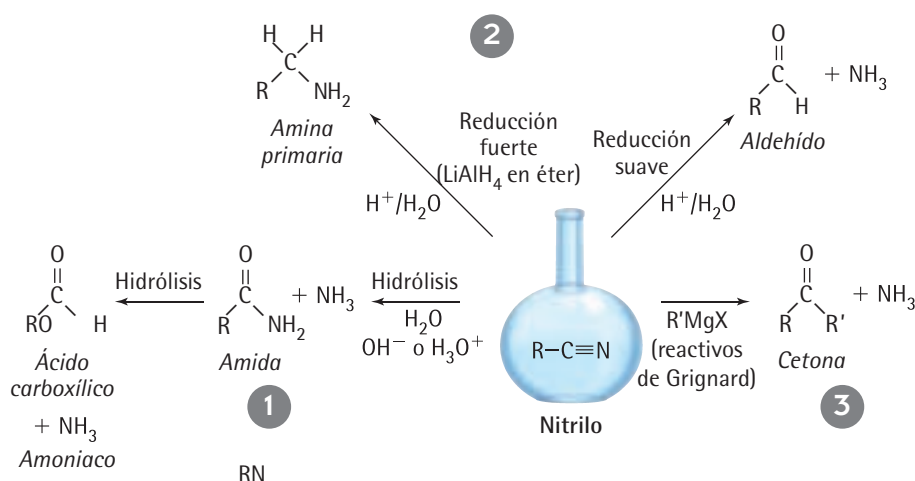
Los nitrilos de bajo y mediano peso molecular son líquidos incoloros de olor aromático, los términos superiores son sólidos cristalinos. Los primeros miembros de la serie son solubles en agua, los demás lo son en alcohol y éter.

Químicas

El grupo nitrilo, al igual que el carboxilo, es polar, con un δ^+ cerca del carbono y un δ^- alrededor del nitrógeno. Esta circunstancia hace que el carbono se comporte como un electrófilo y por consiguiente, los nitrilos suelen intervenir en reacciones de adición nucleofílica, según el siguiente esquema:



En la figura 32 se resumen las diferentes reacciones que experimentan los nitrilos y a continuación se presentan algunos comentarios acerca de cada reacción.



EJERCICIO

Completa la siguiente reacción e indica el nombre para reactivos y productos

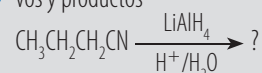


Figura 32. Resumen de las principales reacciones propias de los nitrilos.

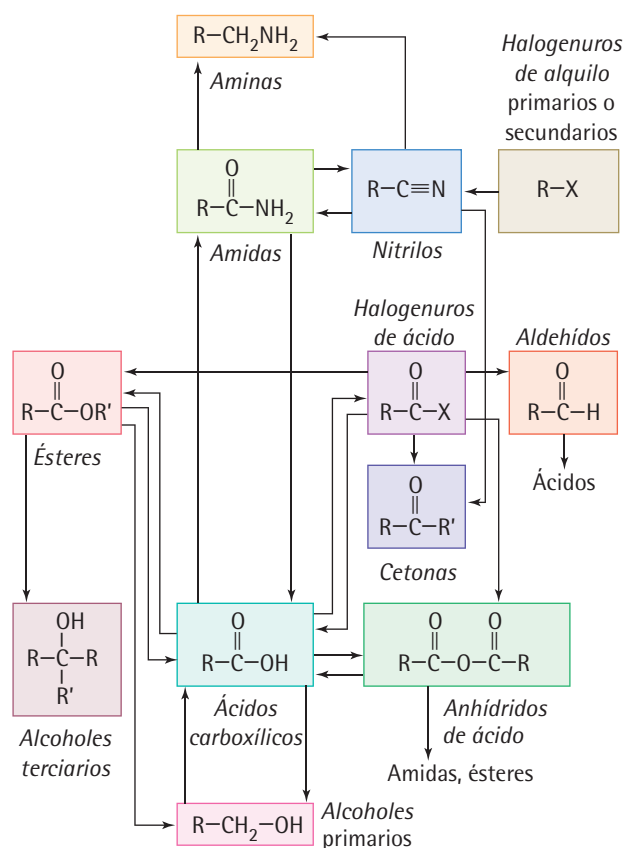


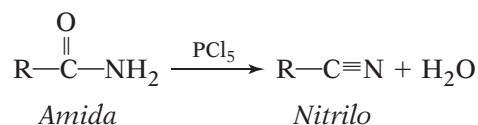
Figura 33. El esquema resume las relaciones entre los diferentes derivados de ácidos carboxílicos, así como aminas y nitrilos. Se omiten las especificaciones de cada reacción para mayor claridad.

1. **Hidrólisis:** la hidrólisis de los nitrilos conduce a la formación inicial de amidas y luego de ácidos carboxílicos. En este caso se desprende amoníaco como producto secundario. La reacción ocurre en medio ácido o básico. Controlando las condiciones es posible aislar la amina antes de que la hidrólisis progrese hasta la formación del ácido.
2. **Reducción o hidrogenación:** los nitrilos se pueden someter a una hidrogenación catalítica en presencia de hidruro de aluminio y litio (LiAlH_4). El producto de esta reacción es una amina primaria con pequeñas proporciones de aminas secundaria y terciaria. Cuando la hidrogenación es suave, se forma un aldehído y se libera amoníaco.
3. **Reacción con reactivos de Grignard:** en este caso, el radical $-\text{R}$ del reactivo de Grignard actúa como nucleófilo, adicionándose al carbono del grupo nitrilo. El agua proporciona el oxígeno necesario para la formación del grupo carbonilo de la cetona resultante.

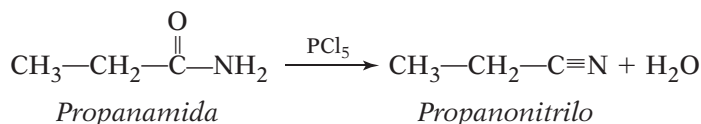
2.2.3 Métodos de preparación

Existen dos métodos para obtener nitrilos. En uno de ellos no hay modificación del número de átomos de carbono presentes en la molécula, mientras que en el otro sí. Veamos.

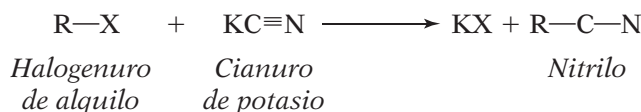
- **Deshidratación de amidas:** en este caso **no hay modificación del número de carbonos**. Como agentes de deshidratación se pueden emplear el pentóxido o el pentacloruro de fósforo, según la reacción:



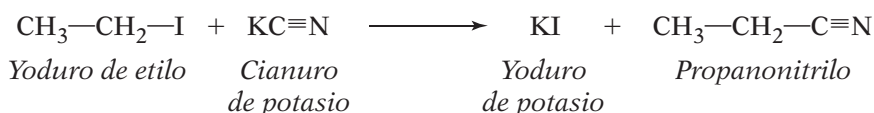
Veamos un ejemplo concreto:



- **A partir de halogenuros de alquilo:** los halogenuros de alquilo pueden reaccionar con cianuro de potasio o de sodio, produciendo nitrilos. La reacción ocurre en solución alcalina, a la temperatura de ebullición:



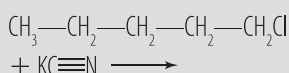
A continuación un ejemplo,



Observa que, los dos reactivos que interactúan poseen carbono en su estructura, por lo que el nitrilo producido tiene un carbono más que el radical alquilo del halogenuro (figura 33).

EJERCICIO

Completa la siguiente reacción y da el nombre para los reactivos y productos:





Interpreta

- 1 Explica cuáles son los elementos químicos que constituyen, fundamentalmente, los compuestos orgánicos nitrogenados. ¿Cuál es la organización molecular que define la presencia de una amina o un nitrilo en una molécula?
- 2 La fórmula de la morfina es $C_{17}H_{19}NO_3$. Consulta acerca de su estructura química y sus aplicaciones en diversos ambientes.

Responde:

- a) ¿Cuántos átomos de oxígeno hay en un mol de morfina?
- b) ¿Cuántos átomos de carbono hay en 10 mg de morfina?
- c) ¿Qué masa de morfina contiene $3,01 \times 10^{23}$ átomos de nitrógeno?
- d) ¿Qué cantidad de morfina se considera letal en los seres humanos?

Masas atómicas $H = 1$; $C = 12$; $N = 14$;
 $O = 16$

- 3 Explica cuál es la diferencia entre una amina primaria, una secundaria y una terciaria.
- 4 Representa las estructuras de las siguientes aminas y clasifícalas en aminas primarias, secundarias y terciarias. Argumenta tu elección.
- 5 Escribe F (falso) o V (verdadero), según corresponda:

- ☐ El nitrógeno, aunque es el elemento más abundante en la atmósfera, no se encuentra en forma utilizable para los seres vivos.
- ☐ El compuesto aminobenceno es la misma anilina.
- ☐ La reacción entre un haluro de alquilo y el amoníaco produce una amina.
- ☐ Los nitrilos son compuestos orgánicos que contienen el grupo funcional $-OH$.
- ☐ La dinamita es el nombre común del trinitrotolueno.
- ☐ El primer colorante sintético fue obtenido por William Perkin en 1856.



Argumenta

- 6 El punto de ebullición de la metilamina es $-6,3^\circ C$ y su peso molecular es de 31,1 g/mol. El metanol ebulle a los $65,0^\circ C$ y tiene un peso molecular de 32 g/mol. Aunque los pesos moleculares no presentan demasiada diferencia, el punto de ebullición del alcohol es más alto. ¿Cómo se explica este comportamiento?
- 7 Prepara pentilamina a partir de los siguientes reactivos. En caso de ser posible, menciona los reactivos, las condiciones y productos de reacción:
 - a) Pentanamida
 - b) Pentanotrilo
 - c) Butanol
 - d) Ácido hexanoico

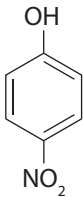


Propone

- 8 La descomposición de las proteínas del pescado, generalmente sustancias volátiles como las aminas, originan un olor desagradable. Una de las propiedades químicas más importantes de las aminas es su capacidad para atraer un protón del hidrógeno (H^+), lo cual las convierte en una molécula cargada eléctricamente.
Esta propiedad es utilizada por muchos comerciantes de pescado con el fin de disminuir su mal olor. Para ello emplean el ácido del limón, que libera los H^+ necesarios para que la trimetilamina quede anulada y no moleste el olfato.
 - a) Explica cuál es la reacción neta que representa la carga eléctrica asumida por la trimetilamina en presencia de sustancias ácidas como el limón.
 - b) Determina cómo se explica la atracción de la amina hacia el H^+ .
 - c) Explica con tus propias palabras cómo se logra controlar el olor desagradable del pescado.
- 9 La introducción de una amplia variedad de medicamentos entre los años 1940 y 1960 produjo una verdadera explosión de fármacos. En la actualidad, la elaboración de medicamentos es una importante actividad industrial que permite disminuir los costos de síntesis y responder a la alta demanda. Responde:
 - a) ¿Qué peligro representa el consumo de anfetaminas?
 - b) ¿Consideras que las anfetaminas, las píldoras para dormir y los tranquilizantes son artículos necesarios en nuestra sociedad?

Actividades

- 1 Completa la siguiente tabla. Escribe el nombre o la fórmula del compuesto según la información que encuentras en cada fila.

Nombre	Fórmula
Ácido etanoico	
	$\begin{array}{c} \text{O} \qquad \qquad \text{O} \\ \parallel \qquad \qquad \parallel \\ \text{HOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COH} \end{array}$
Ácido 3-clorociclopentano	
	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{CCO}_2\text{H}$
Ácido 6-amino-7-metil-2,4-octadieno	
Ácido 3,5-dibromobenzoico	
	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Ácido 3-etil-6-metil-octanodioico	

- 2 Las reacciones de neutralización son utilizadas como pruebas cualitativas en el análisis orgánico. En estas, un ácido reacciona con un hidróxido para producir una sal y agua. Plantea la ecuación química que representa la obtención de las siguientes sales que son utilizadas como preservantes para alimentos.

- 3 El acetato de etilo y el acetato de butilo son los ésteres más importantes a nivel comercial. Son utilizados como disolventes para la nitrocelulosa y como materia prima en la fabricación de lacas. Los ésteres sintéticos son usados como aromatizadores de alimentos, como por ejemplo, el

acetato de amilo que se reconoce por el olor a banano y el acetato de octilo, que se reconoce por el olor a naranja. Consulta y responde:

a) ¿Qué ésteres se utilizan para producir el olor a piña, a albaricoque, a almendra y a fram-buesa?

b) ¿En qué se diferencian sus fórmulas químicas?

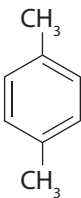
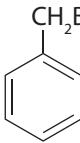
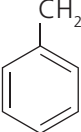
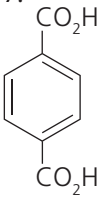
- 4 Los ésteres y las amidas abundan en la naturaleza. Menciona ejemplos de materiales en tu hogar que contengan ésteres. Enumera además, las características propias de un éster natural.



Analiza y resuelve

- 5 Los ácidos carboxílicos, por la presencia del grupo carboxilo, son compuestos moderadamente polares. Esto se debe al grado de asociación que tienen gracias a los puentes de hidrógeno, que hacen que las moléculas se enlacen en pares y desarrollen estructuras dímeros. Explica cómo influye esta propiedad en la solubilidad, puntos de fusión y ebullición de los ácidos carboxílicos.

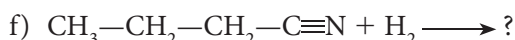
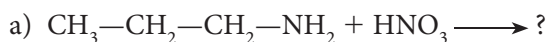
- 6 En la siguiente tabla se observan algunos reactivos utilizados para preparar ácidos carboxílicos. Identifica las sustancias que se utilizan para producir los ácidos de las casillas 3, 6 y 7. Plantea las ecuaciones químicas respectivas.

1. 	2. 	3. 
4. CrO_3/H^+	5. Octanol	6. Ácido octanoico
7. 	8. Carbonatación de un reactivo de Grignard	9. KMnO_4

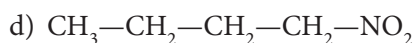
Actividades

1 Escribe y nombra todas las aminas que tienen por fórmula empírica $C_4H_{11}N$. ¿Cómo se denomina este tipo de compuestos que presentan la misma fórmula empírica pero diferente fórmula estructural?

2 Completa las siguientes ecuaciones químicas, indicando los nombres de los reactivos y productos, así como las condiciones para que estas reacciones se originen:

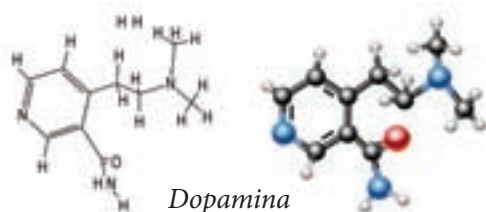


3 Relaciona cada estructura con su respectivo nombre:



Analiza y resuelve

4 Propón, por medio de dos métodos diferentes, la síntesis de dopamina, un neurotransmisor que participa en la regulación del sistema nervioso central.

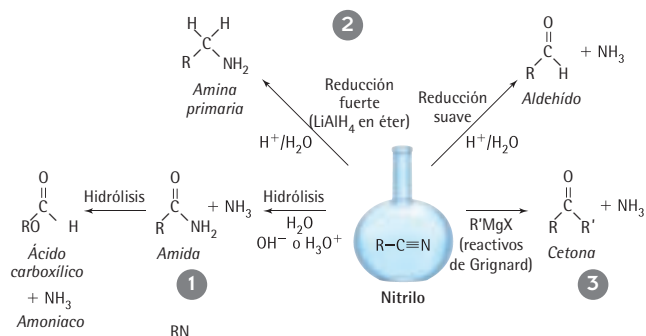


5 Responde: ¿Por qué razón Lavoisier llamó ázoe al nitrógeno?

6 Explica cómo puedes diferenciar las aminas alifáticas utilizando ácido nitroso. Demuestra tu respuesta por medio de ecuaciones químicas.

7 Responde: ¿Por qué las aminas se describen como derivados del amoníaco?

8 Las siguientes son las principales reacciones de los nitrilos:



Explica:

a) ¿Por qué al $LiAlH_4$ se le considera un reductor fuerte?

b) ¿Qué diferencias existen entre un reductor suave y uno fuerte? Escribe un ejemplo para cada caso.

c) ¿Mediante cuáles reacciones se obtiene el pentano nitrilo?

d) ¿Por qué los nitrilos se pueden hidrolizar? Justifica tu respuesta.



Problemas básicos

9 Las aminas se pueden obtener por el método Hofmann, en el que un halogenuro de alquilo o arilo reacciona con el amoníaco. Esta reacción se realiza en dos etapas: durante la primera, el amoníaco reacciona con el halogenuro de alquilo o arilo para dar una mezcla de amoníaco y sal de amonio; durante la segunda etapa, la sal de amonio reacciona con más amoníaco formando la amina primaria. La reacción puede controlarse utilizando exceso de amoníaco. Utiliza el anterior mecanismo para sintetizar la anilina. Responde:



- a) ¿Qué utilidad tiene la anilina en la industria textil?
- b) ¿Es lo mismo un colorante que un pigmento?
- c) ¿Qué otros colorantes se utilizan en la industria textil?

10 Algunas plantas como el té y el café contienen cafeína. El tabaco contiene nicotina y el opio, morfina y codeína. Explica:

- a) ¿Qué tienen en común estas sustancias de origen vegetal?
- b) ¿Cuáles son sus principales características?

11 Las aminas tienen múltiples aplicaciones: como reveladores en fotografía, como ingredientes en la elaboración de colorantes, jabones, desinfectantes, herbicidas, fungicidas e insecticidas, e incluso como principios activos para la preparación de medicamentos. Por ejemplo, la quinina, que es un antipalúdico, y la reserpina, que es un agente contra la hipertensión. Investiga sobre las aminas que se emplean en las anteriores aplicaciones.

12 Las aminas por su carácter nucleófilo del nitrógeno, se comportan como aceptoras de protones, lo que la convierte en bases según la definición de Bronsted Lowry. Cuando se encuentran en solución acuosa, se establece un equilibrio en el cual el agua actúa como ácido, donando un protón que es aceptado por la amina. La constante de equilibrio, que es la constante de basicidad, indica la fuerza básica de una amina. Examina la siguiente tabla y explica:

Amina	P_{Kb}
Amoníaco	4,74
Metilamina	3,36
Dimetilamina	3,28
Ciclohexilamina	3,33
Anilina	9,40

- a) ¿Por qué se utiliza el amoníaco como punto de partida para hacer la comparación?
- b) ¿Por qué la anilina presenta ese valor de constante de basicidad?

13 Los nitrilos se utilizan para sintetizar productos orgánicos (aminas, ácidos carboxílicos y amidas, entre otros) en la elaboración de fibras acrílicas y plásticas, además en agricultura; para compuestos como fungicidas e insecticidas.

- a) Responde: ¿Qué diferencias existen entre las fibras acrílicas y las plásticas? Da un ejemplo para cada caso.
- b) Plantea una situación de la vida diaria en la cual sea necesario utilizar un fungicida o un insecticida. Explica tu respuesta.
- c) Para evitar las picaduras de los mosquitos, el comercio ofrece algunos repelentes. Determina si estas sustancias contienen nitrilos o algún otro compuesto nitrogenado.
- d) Averigua qué nitrilos se usan para la fumigación. Escribe su fórmula.



Problemas de profundización

14 La estructura tetraédrica de las aminas X, Y y Z representan los diferentes sustituyentes o hidrógenos que pueden estar unidos a átomos de nitrógeno. Propón la estructura para la difenil amina y ciclohexil amina.

15 El olor de la carne en descomposición se debe a la putrescina, amina que se forma al descomponerse las proteínas. Explica:

- a) ¿Cómo se lleva a cabo este proceso?
- b) ¿Qué crees que sucede cuando se adiciona a un cadáver, sustancias como el formol?

16 Existen miles de especies de plagas que atacan a los cultivos: insectos, hierbas parásitas, microorganismos y hongos, entre otros. Para combatir y controlar, con éxito, el ataque de dichas plagas se utiliza plaguicidas. Responde:

- a) ¿Qué diferencias existen entre los plaguicidas, herbicidas e insecticidas?
- b) ¿Los compuestos mencionados se pueden obtener a partir de nitrilos?
- c) ¿Cuál es el impacto ambiental ocasionado por el uso de estos compuestos?
- d) ¿Qué consecuencias tiene para el hombre, el uso de estos compuestos en la agricultura?
- e) ¿Los plaguicidas, herbicidas y fungicidas se pueden aplicar a todas las especies vegetales o animales?
- f) ¿Qué precauciones se deben tener en cuenta para aplicar estas sustancias?

LOS ADITIVOS EN LOS ALIMENTOS



Los alimentos son parte de nuestra vida diaria; sin embargo, el surgimiento de la química de alimentos como una ciencia es relativamente reciente y obedece a la necesidad frente al desarrollo de los alimentos procesados o industrializados. Basta una mirada al supermercado para encontrar una gran variedad de alimentos como: galletas, enlatados, conservas, productos lácteos, gaseosas, bebidas alcohólicas, entre otros. Muchos de estos productos, además de contener compuestos químicos propios de los alimentos, como carbohidratos, lípidos y proteínas, también poseen compuestos orgánicos que se les adicionan con el fin de garantizar la calidad del alimento. Estos compuestos son denominados **aditivos para alimentos**.

Un aditivo para alimentos, ya sea natural o sintético, se define como una sustancia o mezcla de sustancias diferentes al alimento que se encuentra en él, como resultado de una adición intencional durante las etapas de producción o envasado para lograr ciertos beneficios, por ejemplo, evitar su descomposición u oxidación, mejorar su valor nutritivo, su sabor, su color y olor.

Su variedad química es enorme e incluye alcoholes, fenoles, ácidos carboxílicos, compuestos nitrogenados, aldehídos, cetonas, compuestos heterocíclicos, entre otros.

En la actualidad, la lista de aditivos para alimentos aprobados por la FDA, sigla de la entidad estadounidense Food and Drugs Administration o Administración de Drogas y Alimentos de Estados Unidos, asciende aproximadamente a 3.500 compuestos diferentes, que pueden ser agrupados en las siguientes categorías: antioxidantes, potencializadores de sabor, emulsificantes, conservantes, agentes quelantes, agentes tensoactivos, colorantes, estabilizadores de pH, acidulantes, espesantes, antiespumantes, clarificantes, blanqueadores, humectantes, sabores y aromas artificiales, edulcorantes, vitaminas y minerales, entre otros. Con seguridad, a diario consumes algún producto que contiene un aditivo para alimentos, hecho que nuevamente nos muestra la gran influencia de la química orgánica en la vida diaria. El yogur del desayuno, las papas fritas de tu lonchera, el pollo asado de tu almuerzo, el perro caliente que comiste en el cine y hasta los helados, contienen algún aditivo para alimentos.

▲ En la mayoría de los alimentos podemos encontrar gran variedad de aditivos.

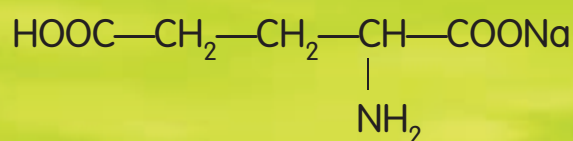
Veamos algunos de los aditivos usados ampliamente en alimentos procesados de la vida cotidiana:

- El **glutamato monosódico** es un potenciador que realza el sabor de los alimentos. Es usado en carnes, sopas, pescados, salsas, condimentos, papas fritas. Su mecanismo de acción aún se encuentra en estudio, pero se cree que incrementa la sensibilidad de las papilas gustativas de la lengua, además de favorecer la salivación.
- Los **saborizantes y aromas artificiales**. En la actualidad es común encontrar papas con sabores artificiales a limón, pollo, mayonesa o Bbq, lo cual es posible gracias a la adición de sabores artificiales que imitan el sabor de los productos naturales. Los saborizantes y aromas artificiales son principalmente derivados de los ácidos carboxílicos como ésteres artificiales.
- Los **edulcorantes**. Son usados para endulzar productos. Los que se emplean con mayor frecuencia son: jarabe de maíz, sacarosa, glucosa, fructosa, sacarina.
- **Colorantes para alimentos**. Son usados en la fabricación de toda clase de alimentos como gaseosas, dulces, gelatinas y salsas para mejorar su apariencia y color. En la actualidad existen colorantes naturales que pueden ser minerales o vegetales y sintéticos en todos los colores. Químicamente poseen estructuras muy variadas que dependen de su composición.
- **Vitaminas**. Se adicionan a los alimentos con el fin de aumentar su valor nutricional. A los alimentos que se les adicionan vitaminas se les denomina, **alimentos fortificados**. Debido a las campañas mundiales a favor de la importancia de la nutrición infantil, las compañías fabricantes de alimentos como cereales fortifican sus productos con vitaminas y suplementos minerales.

La química de alimentos es un campo de investigación fuerte en todo el mundo, que busca desarrollar alimentos procesados agradables y seguros para el consumidor. Por ello, muchos departamentos de investigación y desarrollo de las industrias de alimentos generan al año nuevos aditivos para que suplan las necesidades de los mercados de alimentos en el mundo.

“Cuanto más adelante el hombre en la penetración de los secretos de la naturaleza, mejor se le descubre la universalidad del plan eterno”.

Kepler



▲ El glutamato monosódico es un aditivo para alimentos que potencia los sabores.

Reflexiono sobre lo leído...

- ¿Qué son los aditivos para alimentos?
- ¿Cuáles son las principales categorías de aditivos para alimentos?
- ¿Cuál es la finalidad de usar aditivos en los alimentos?

Fortalezco mis valores...

- ¿Por qué es importante leer las etiquetas de los alimentos antes de consumirlos?
- ¿Qué consecuencias negativas tendrá el consumo de un alimento vencido?
- ¿Qué tan balanceada es tu dieta diaria?



¿Cómo evidenciar las propiedades físicas de los ácidos carboxílicos?

De igual manera que las otras funciones oxigenadas, las propiedades físicas de los ácidos orgánicos se relacionan con la polaridad y el tamaño relativo de las moléculas. En cuanto al estado físico, los ácidos alifáticos pequeños, hasta de nueve átomos de carbonos son líquidos. Los de tamaño intermedio son de consistencia aceitosa y los mayores son sólidos cristalinos. En esta práctica de laboratorio observarás algunas propiedades físicas de los ácidos carboxílicos.

Conocimientos previos

Propiedades físicas de los ácidos carboxílicos.

Reactivos

- Benceno
- Cloroformo
- Etanol
- Ácido fórmico
- Ácido oxálico
- Ácido salicílico
- Ácido benzoico
- Ácido acético

Materiales

- 1 balanza
- 1 espátula
- 2 pipetas graduadas de 5 mL
- 3 vidrios de reloj
- 3 tubos de ensayo
- 1 gradilla
- Indicador universal

Experimento 1

Procedimiento

1. Toma pequeñas muestras, de aproximadamente 0,5 g o 1 mL, de los diferentes ácidos orgánicos. Observa sus propiedades físicas como el estado, color, olor y consistencia.
2. Realiza pruebas de solubilidad en agua, etanol benceno y cloroformo. Registra tus observaciones en la tabla de resultados.
3. Toma algunas de las soluciones de ácido en agua y mide el grado de acidez con indicador universal. Registra los resultados en la siguiente tabla.

Ácido carboxílico	Estado	Olor	Soluble en	Valor de pH
Fórmico				
Oxálico				
Salicílico				
Benzoico				
Acético				

Análisis de resultados

1. ¿En qué solventes se disuelven los ácidos carboxílicos? Explica tu respuesta.
2. ¿Cuál es el ácido carboxílico de mayor acidez? Justifica tu respuesta.
3. ¿En qué estado de agregación se encuentra la mayoría de los ácidos orgánicos?
4. ¿Qué ácidos carboxílicos utilizas en la vida diaria?



¿Cómo sintetizar un ácido carboxílico?

Los ácidos carboxílicos son compuestos de gran importancia a nivel biológico, ya que forman parte de algunas sustancias de interés metabólico. En la industria se producen anualmente aproximadamente dos millones de toneladas de ácido acético, para distintos propósitos. En este laboratorio aprenderás la elaboración del ácido acetilsalicílico comúnmente denominado aspirina, medicamento utilizado como analgésico y antipirético.

Conocimientos previos

Propiedades químicas de los ácidos carboxílicos.

Reactivos

- Anhídrido acético
- Ácido sulfúrico
- Ácido salicílico
- Agua destilada

Materiales

- 1 tubo de ensayo
- 1 gradilla
- 1 agitador de vidrio
- 1 mechero
- 1 pipeta graduada de 10 mL
- 1 vaso de precipitados de 50 mL
- 1 malla de asbesto
- 1 trípode
- 1 gotero
- 1 balanza
- 1 vidrio de reloj
- 1 espátula
- 1 termómetro
- 1 embudo
- pH-metro o indicador universal
- Papel filtro
- Hielo

Experimento 1

Procedimiento

1. En un tubo de ensayo, mezcla 4 mL de anhídrido acético y 2 g de ácido salicílico. Adiciona cuatro gotas de ácido sulfúrico concentrado.
2. Prepara un baño de María a 60 °C e introduce el tubo de ensayo con la mezcla anterior hasta que se complete la reacción.
3. Retira el tubo del baño de María, espera unos minutos y luego colócalo en una cubeta que contenga agua con hielo. Observa la formación de cristales blancos de aspirina.
4. Añade 10 mL de agua destilada y lava los cristales para eliminar el exceso de anhídrido acético. Filtra y adiciona otros 10 mL de agua sobre los cristales retenidos en el papel filtro para lavar nuevamente.
5. Disuelve unos cuantos cristales en agua y mide el pH de la solución. Repite este paso con cristales de aspirina comercial.



Análisis de resultados

1. ¿Qué reacciones se llevan a cabo durante la obtención de la aspirina?
2. ¿Qué nombre recibe la reacción para obtener el ácido acetilsalicílico?
3. ¿Qué significan los términos analgésico y antipirético?
4. ¿Cómo actúa la aspirina en nuestro organismo?



¿Cómo obtener un aceite vegetal?

Ciertas plantas producen grandes cantidades de aceites fijos, los cuales se acumulan generalmente, en frutos y semillas. Algunos ejemplos de plantas oleaginosas son el coco, el girasol, el maní, la palma africana y las almendras. La mayoría de los aceites se obtiene por presión en frío o caliente de la parte vegetal rica en aceite. Luego de este proceso se recolecta el aceite y queda un residuo de vegetales rico en fibras. En esta práctica extraerás el aceite contenido en las semillas de almendro.

Conocimientos previos

Propiedades de los ácidos carboxílicos.

Reactivos

- Hidróxido de sodio
- Agua

Materiales

- 1 mortero con pistilo
- 1 colador
- 1 estufa
- 1 cuchara metálica
- 1 probeta de 100 mL
- 1 vaso de precipitados de 100 mL
- 1 recipiente plástico
- 1 olla
- 1 balanza
- Fósforos



Experimento 1

Procedimiento

1. En una olla, calienta en seco algunas almendras a fuego lento. Luego, deposítalas en un mortero y macéralas con la ayuda del pistilo (ver figura). Repite el proceso hasta completar 500 g de almendras.
2. Toma el colador y colócalo sobre el recipiente plástico. Adiciona el macerado para separar los restos vegetales del aceite. El aceite obtenido presenta un color amarillo pálido, con ligero olor y sabor dulce.
3. En el vaso de precipitados mezcla 1 g de hidróxido de sodio con 20 mL de agua. Agita suavemente hasta lograr la disolución total del hidróxido.
4. Vierte 10 mL de aceite de almendras en una olla y adiciona 10 mL de hidróxido de sodio. Calienta durante 30 minutos y observa la formación de una masa blanca de jabón.

La composición del aceite que se obtiene presenta entre 40% y 55% de aceite fijo, 20% de proteínas, mucilago y emulsina. Contiene una cantidad considerable de oleína y cantidades menores de ácido linoleico y de otros ácidos grasos.

Análisis de resultados

1. ¿Qué vitaminas están presentes en el aceite de almendras?
2. ¿Cuál es la fórmula estructural del ácido linoleico?
3. ¿En qué se diferencia la composición del aceite de coco de la composición del aceite de almendras?
4. ¿Qué otros aceites vegetales utilizas en la vida diaria?



¿Cómo obtener productos de uso cotidiano a partir de un ácido carboxílico?

Los derivados de los ácidos carboxílicos son utilizados en diversas industrias como la de los cosméticos, en la de alimentos como aromatizantes, en la fabricación de ambientadores y en la textil para obtener poliésteres. En esta práctica vamos a obtener productos de uso común como la crema de manos y las briquetas para las chimeneas.

Conocimientos previos

Aplicaciones de los ácidos carboxílicos y sus derivados.

Reactivos

- Etanol
- Agua destilada
- Mentol
- Glicerina
- Colorante liposoluble
- Ácido esteárico
- Esencia de rosas
- Esencia de jazmín
- Carbonato de potasio
- Hidróxido de sodio

Materiales

- 1 agitador de vidrio
- 1 espátula
- 1 balanza
- 1 probeta de 50 mL
- 4 vasos de precipitados de 50 mL
- 1 vidrio de reloj
- 1 mechero
- 1 trípode
- 1 malla de asbesto



Experimento 1: preparación de una crema básica

Procedimiento

1. Mezcla 8 g de ácido esteárico, 5 g de glicerina, 0,5 g de carbonato de potasio y 50 mL de agua destilada.
2. En un baño de María calienta las sustancias mencionadas en el paso 1, agitando continuamente durante 20 minutos. Si se produce mucha espuma, reduce la intensidad de la llama.
3. Retira el recipiente del fuego y adiciona 0,3 g de mentol. Deja enfriar para agregar las esencias y el colorante.
4. Rotula y empaqueta la crema obtenida.



Experimento 2: preparación de briquetas para chimeneas

Procedimiento

1. Toma dos vasos de precipitados. En el primero vierte 50 mL de etanol y, en el segundo, 50 mL de agua.
2. Mezcla 8 g de hidróxido de sodio y 15 g de ácido esteárico. Adiciona el hidróxido al agua y el ácido al alcohol. Calienta el contenido de los dos vasos durante 5 minutos. Suspende el calentamiento y vierte el contenido del primer vaso en el segundo. El resultado es una briqueta o una bujía esteárica, que sirve como combustible para encender una chimenea.

Análisis de resultados

1. Plantea la reacción que ocurre entre la glicerina y el ácido esteárico.
2. Especifica la función que cumplen la esencia, el mentol y el colorante en la elaboración de la crema de manos.
3. Plantea la reacción que ocurre en la elaboración de briquetas.
4. Explica qué clases de derivados de ácidos se obtienen en estos procesos.
5. Indica a qué grupo de compuestos orgánicos pertenecen los colorantes utilizados en esta práctica.



UNIDAD

6

Compuestos de interés bioquímico I

Temas de la unidad

1. Carbohidratos
2. Aminoácidos y proteínas
3. Lípidos



? Para pensar...

Los compuestos de interés bioquímico son aquellos que intervienen en la química de los seres vivos. Empezaremos nuestro estudio con tres grupos de compuestos de suma importancia: los carbohidratos, las proteínas y los lípidos. Además de estudiar aspectos relacionados con su estructura, nos adentraremos en los aspectos funcionales de estos compuestos. Para ello es necesario hacer algunas aclaraciones.

En primer lugar, definimos como metabolismo, al conjunto de reacciones químicas que tiene lugar dentro de las células y que posibilitan el mantenimiento de la vida de dichas células. Dentro de la gran variedad de reacciones que pueden darse entre los compuestos orgánicos, es posible identificar dos clases: aquellas que culminan con la síntesis de moléculas más complejas que las iniciales y aquellas a través de las cuales se descomponen moléculas complejas, para producir otras más simples, así como una cierta cantidad de energía, que a su vez puede ser empleada para diversos fines. En el primer caso hablamos de **anabolismo**, mientras que en el segundo, nos referimos al **catabolismo**.

Una serie de reacciones químicas, consecutivas y que conllevan a un resultado específico, constituyen una **ruta** o vía **metabólica**. Así, existen rutas metabólicas para producir energía, para sintetizar un determinado tipo de compuestos o para deshacerse de moléculas de desecho que pueden convertirse en venenos para el organismo.

En este contexto, iniciaremos el estudio del metabolismo de los compuestos de interés bioquímico.

● Para responder...

- ¿En qué alimentos encontramos carbohidratos?
- ¿Por qué son importantes las proteínas?
- ¿En qué se fundamenta la clasificación de los alimentos como reguladores, estructurales y energéticos?
- ¿Cuáles son las funciones de las proteínas y los lípidos en los organismos vivos?
- ¿Qué caracteriza el metabolismo de carbohidratos, lípidos y proteínas?, ¿en qué se diferencia el metabolismo de cada uno?



1. Carbohidratos

Los carbohidratos son los compuestos más abundantes entre los constituyentes de animales y plantas. Son la fuente de energía biológica por excelencia y forman parte de los tejidos de sostén de las plantas y de algunos animales.

1.1 Estereoisomería

Una de las principales características de los carbohidratos es la estereoisomería. Como hemos mencionado antes, los isómeros son moléculas que poseen la misma fórmula molecular, pero que difieren en el arreglo o disposición relativa de los átomos dentro de la molécula.

En la figura 1 se resumen las diferentes formas de isomería que se pueden presentar. Aquellas que implican la misma disposición relativa entre átomos, pero se diferencian en el arreglo espacial de los mismos, se denominan **isómeros espaciales** o **estereoisómeros**, haciendo referencia al carácter tridimensional de las diferencias entre isómeros.

Los carbohidratos presentan un tipo particular de estereoisomería: isomería **óptica**, en la cual se tienen parejas de formas isoméricas llamadas **enantiómeros**. Los enantiómeros son *imágenes especulares no superponibles*. En otras palabras, son pares de moléculas asimétricas, similares a las manos derecha e izquierda, que constituyen reflejos especulares una de otra y que no se pueden superponer, de tal manera que las posiciones de todas sus partes coincidan exactamente (figura 2). Cuando una molécula cumple estas condiciones es **quiral**, mientras que, si sus imágenes especulares son superponibles es **aqiral**.

EJERCICIO

Escribe ejemplos de los diferentes tipos de isomería.

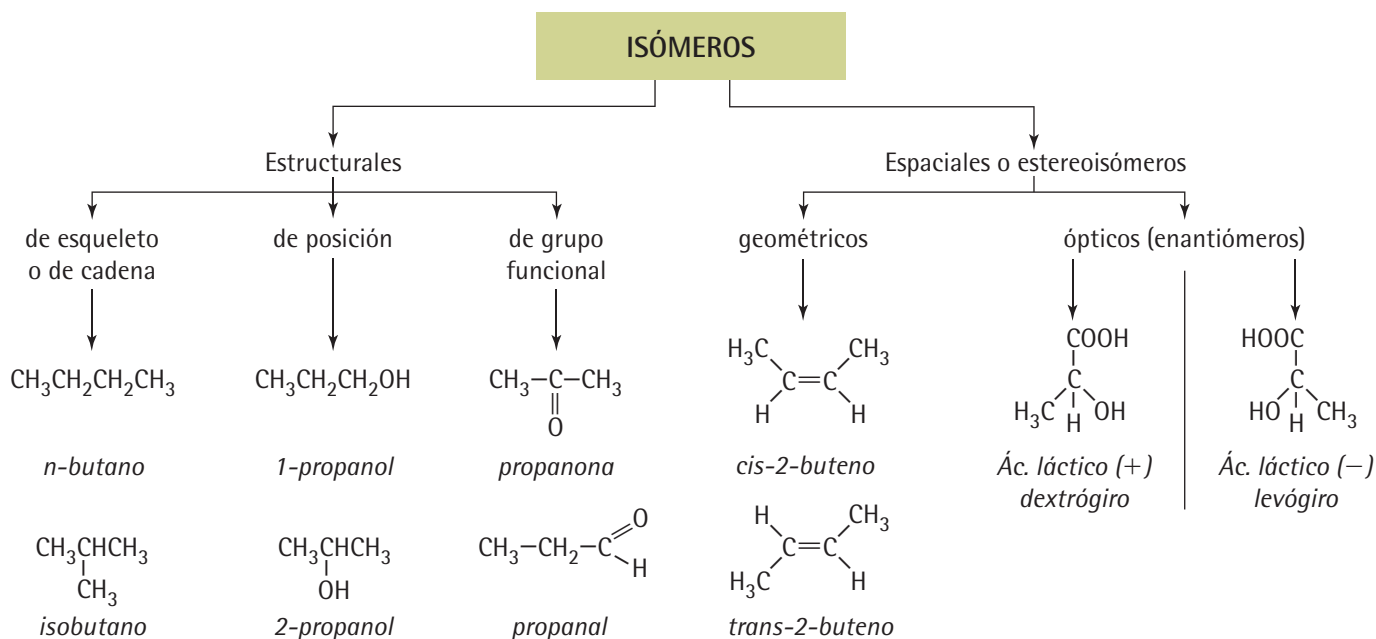
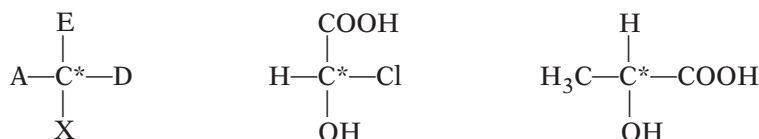


Figura 1. El esquema resume los principales tipos de isomería.



La isomería óptica en un compuesto se relaciona con la existencia de por lo menos un átomo de carbono tetraédrico, enlazado con cuatro átomos o grupos de átomos diferentes. Este tipo de carbonos se denominan **asimétricos** o **quirales** (figuras 3 y 4) y suelen indicarse a través de un asterisco, como en los siguientes ejemplos:



Los enantiómeros se diferencian asignando los signos + y - a cada una de las imágenes especulares (figuras 1 y 3), dependiendo de la desviación de la luz polarizada a la derecha o a la izquierda.

1.1.1 Actividad óptica

La presencia de uno o más carbonos asimétricos confiere a las moléculas una propiedad especial, conocida como actividad óptica. La actividad óptica de una sustancia se refiere a la capacidad de ésta para desviar o rotar la luz polarizada. Un haz de luz ordinaria se compone de ondas electromagnéticas que oscilan perpendicularmente con respecto a la dirección de propagación de la luz. Por ejemplo, si un rayo de luz incide perpendicularmente sobre una hoja de papel las vibraciones emitidas por ese rayo de luz se representarían como una rueda de bicicleta. Sin embargo, es posible separar cada una de esas ondas. Por ejemplo, sustancias tales como el espato de Islandia y la turmalina, así como filtros de polarización, dejan pasar a través de sus cristales solamente la luz que vibra en un plano. Un haz de luz con estas características se conoce como **luz polarizada**.

Las moléculas con actividad óptica pueden hacer rotar un haz de luz polarizada hacia la derecha o hacia la izquierda, en relación con la dirección de propagación inicial del rayo (figura 5). Por convención, el enantiómero que desvía la luz hacia la derecha corresponde a la imagen especular (+) y se denomina **dextrógiro**, mientras que el enantiómero (-) es aquel que desvía la luz polarizada hacia la izquierda y se denomina por tanto, **levógiro**.

El ángulo de rotación del rayo de luz polarizada es característico de cada sustancia y se denomina α . Cada enantiómero de una determinada sustancia presenta un valor de α igual en magnitud pero de signo contrario.

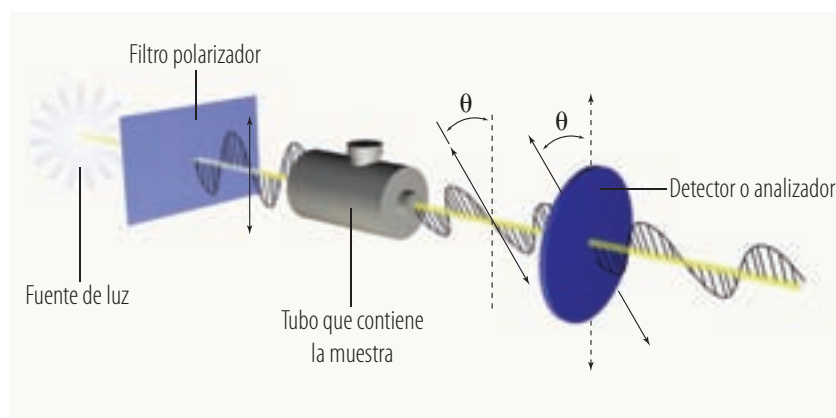


Figura 5. Los isómeros ópticos poseen actividad óptica, expresada en su capacidad para desviar un haz de luz polarizada, ya sea hacia la derecha o hacia la izquierda, en un ángulo α .



Figura 2. a) Los enantiómeros son imágenes especulares que no se pueden superponer. b) Al igual que las manos, las moléculas que poseen isomería óptica son asimétricas.

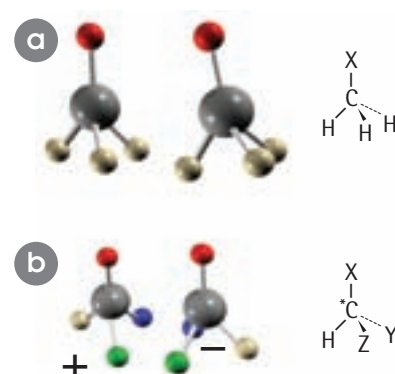


Figura 3. La molécula inferior (b) posee un carbono asimétrico, dado que H, Z y Y son diferentes. Por lo tanto, sus imágenes especulares no son superponibles. En (a) las imágenes especulares sí se pueden superponer.

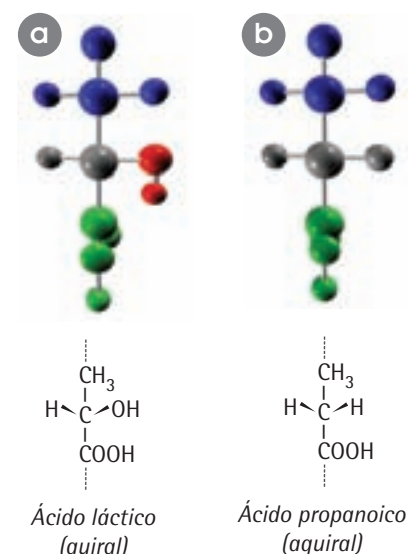


Figura 4. El ácido láctico (a) es un ejemplo de molécula asimétrica, con isomería óptica, mientras que el ácido propanoico (b) no lo es, pues no posee un carbono asimétrico.



Figura 6. El polarímetro se utiliza para cuantificar la actividad óptica de los compuestos orgánicos.

Compuesto	$[\alpha]_D$ (en grados)
Penicilina V	+233
Sacarosa	+66,47
Alcanfor	+44,26
Glutamato monosódico	+25,5
Colesterol	-31,5
Morfina	-132
Ácido acético	0
Benceno	0

Figura 7. Valores de a para algunos compuestos orgánicos. Recuerda que el signo + se refiere a un comportamiento dextrógiro (d) y el signo - a uno levógiro (l).

1.1.2 Cuantificación de la actividad óptica: el polarímetro

La magnitud de la desviación de un haz de luz polarizada, ocasionada por una sustancia ópticamente activa se determina con un instrumento llamado **polarímetro** (figura 6). El esquema básico de este instrumento es muy similar al que se muestra en la figura 5.

Inicialmente el filtro polarizador y el detector se encuentran alineados, de tal manera que la luz pueda pasar a través de los dos. Luego, la muestra es colocada en el tubo. Si la sustancia analizada es ópticamente activa, la luz no puede atravesar el filtro detector, pues ha sido desviada. El detector es entonces girado, hasta que el haz de luz desviado pueda pasar a través de él. De este modo, la magnitud del giro del detector corresponde al ángulo, α , de rotación, provocado por la sustancia problema en el haz de luz polarizada inicial.

La magnitud del ángulo a depende, en primer lugar, de la cantidad de moléculas ópticamente activas con las cuales se cruce un haz de luz polarizada. Esto depende a su vez, de la concentración de la solución problema y de la longitud del tubo donde se deposite la muestra. Entre mayor sea la cantidad de moléculas presentes, mayor será la rotación que experimente el haz de luz incidente. Así, si se duplica la concentración de la muestra en el tubo, la rotación observada se duplica y, si se mantiene constante la concentración de la muestra pero se duplica la longitud del tubo, la rotación también se duplica.

El valor de a depende también de la longitud de onda de la luz empleada y de la temperatura del entorno en el cual se realiza la medición. De esta manera, un valor observado de a siempre debe indicarse en relación con una serie de condiciones, por lo que se trata de una **rotación específica**, $[\alpha]$. Por ejemplo, la rotación específica de un compuesto, medida a 20 °C con luz de 589 nm de longitud de onda es igual a:

$$[\alpha]^{20^\circ}_D = \frac{\text{Rotación observada (en grados)}}{\text{Longitud del tubo } l \text{ (en dm)} \cdot \text{concentración de la muestra, } c \text{ (en mg/mL)}}$$

Los valores estándar para l y c son: 1 dm (10 cm) y 1 mg/mL, respectivamente. El subíndice D hace referencia a que la luz empleada corresponde a una sección del espectro de emisión del sodio, conocida como línea D, de 589 nm. De este modo, $[\alpha]$, medido bajo estas condiciones, constituye una constante física característica de las sustancias ópticamente activas (figura 7).

1.1.3 Mezcla racémica

Una mezcla de los dos enantiómeros de un compuesto, en proporciones 50:50 se denomina mezcla racémica. Dado que la actividad óptica de cada uno de los enantiómeros que conforman la mezcla, se anula mutuamente, las mezclas racémicas son ópticamente inactivas. Así mismo, otras propiedades físicas, como los puntos de fusión y ebullición, la densidad o la solubilidad difieren entre la forma racémica y los enantiómeros puros. En la tabla de la figura 8 se muestran los valores de algunas constantes físicas para el ácido tartárico, en su forma racémica ($\pm$) y para cada enantiómero puro (+ y -).

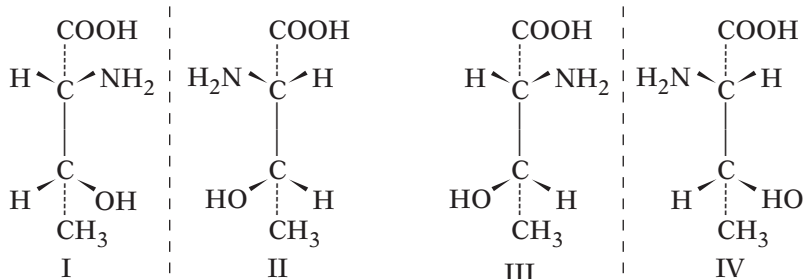
Estereoisómero	Punto de fusión (°C)	$[\alpha]_D$ (°)	Densidad (g/cm³)	Solubilidad (a 20 °C, en g/100 mL de agua)
(+)	168-170	+12	1,75948	139
(-)	168-170	-12	1,7598	139
(±)	206	0	1,7880	20,6

Figura 8. Propiedades físicas de la mezcla racémica ($\pm$) y de cada enantiómero (+ y -) para el ácido tartárico.



1.1.4 Diastereoisómeros

Cuando una molécula posee más de un carbono quiral, existe más de una pareja de enantiómeros, como se puede observar en el siguiente ejemplo, para la treonina o ácido 2-amino-3-hidroxibutanoico (figura 9):

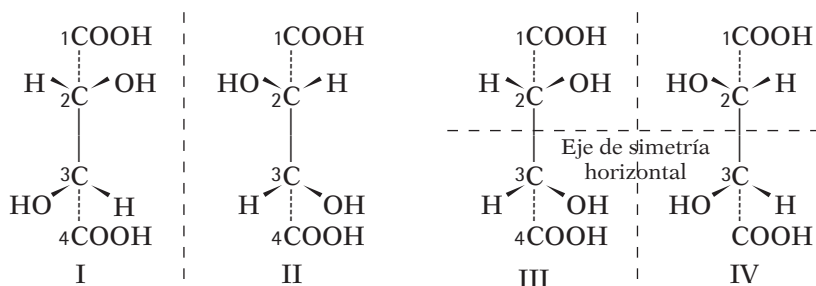


Las parejas I-II y III-IV son enantiómeros entre sí, mientras que las formas I y III y II y IV no son imágenes especulares una de otra, por lo que no son enantiómeros. Estas parejas se denominan entonces **diastereoisómeros**.

Entre más centros quirales posea una molécula, más parejas de enantiómeros presentará. Así, el número máximo de estereoisómeros posibles en una molécula con n carbonos quirales diferentes entre sí es 2^n .

1.1.5 Formas meso

En algunos casos, los diferentes pares de enantiómeros y de diastereoisómeros pueden presentar simetría a lo largo de un eje diferente del que define las imágenes especulares, por lo que se trata de formas aquirales y por tanto, sin actividad óptica. Veamos el caso del ácido tartárico:



La pareja de enantiómeros III y IV posee un eje de simetría horizontal, y por lo tanto es aquiral. Las formas meso, dado que no son imágenes especulares de los enantiómeros, poseen propiedades físicas y químicas diferentes a estos, por lo que constituyen una situación similar a la de las mezclas racémicas.

1.1.6 Significado bioquímico de la isomería óptica

Aunque los enantiómeros presentan las mismas propiedades físicas —a excepción de su actividad óptica—, bioquímicamente se comportan de formas muy diferentes, especialmente, cuando se relacionan con moléculas asimétricas y ópticamente activas (figura 10). Por ejemplo, la terramicina posee 64 isómeros ópticos, de los cuales sólo uno es útil como antibiótico. ¿Cómo se explican esta diferencia? Para que una determinada molécula tenga efectos fisiológicos debe ser reconocida por un receptor dentro del organismo. Los receptores suelen ser altamente específicos; por esta razón sólo uno de los enantiómeros puede activar un determinado receptor y así desencadenar una serie de respuestas bioquímicas en el cuerpo.

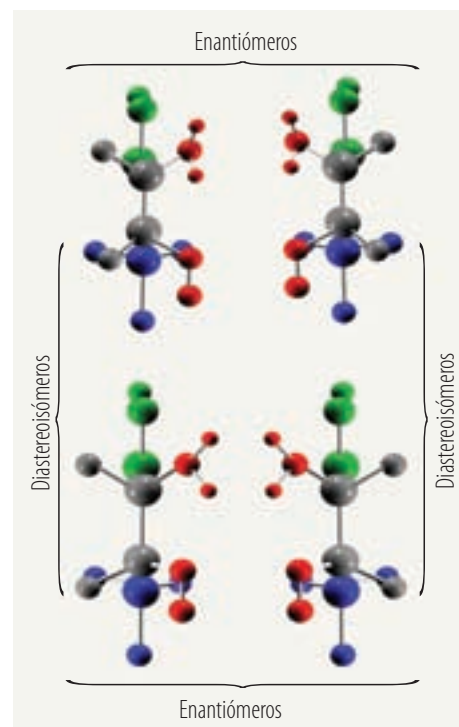


Figura 9. La ilustración representa parejas de enantiómeros y diastereoisómeros en el ácido 2-amino-3-hidroxibutanoico.

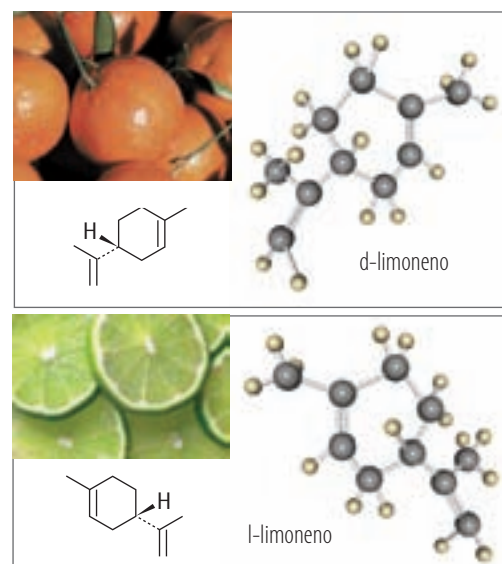


Figura 10. El comportamiento bioquímico de los enantiómeros de una molécula es diferente. Por ejemplo, el d-limoneno es una sustancia con aroma a naranjas, mientras que el l-limoneno huele a limón.

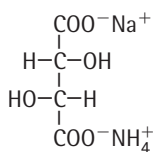
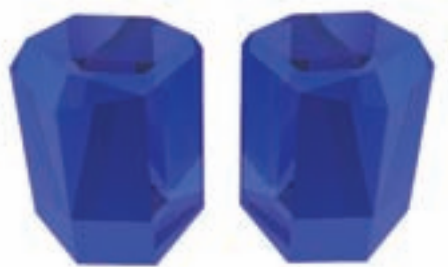


Figura 11. Cristales de tartrato amónico de sodio, estudiados por Pasteur.

1.1.7 Breve resumen del descubrimiento de la isomería óptica

En 1815, el físico **Jean-Baptiste Biot** descubrió que algunas sustancias, como el alcanfor y el azúcar tenían la particularidad de cambiar el plano de propagación de un haz de luz polarizada. Sin embargo, los contemporáneos de Biot no prestaron mucha atención a su descubrimiento.

Hubo que esperar hasta 1849, para que los fundamentos de la isomería óptica fueran establecidos. Esto ocurrió gracias a los trabajos de **Louis Pasteur**, en sales cristalinas del ácido tartárico, derivado de la fermentación del vino.

Pasteur observó que al recrystalizar una solución concentrada de tartrato amónico de sodio por debajo de 28 °C, se precipitaban dos tipos de cristales, los cuales eran imágenes especulares no superponibles uno del otro (figura 11). Trabajando con gran precisión logró separar los dos tipos de cristales y analizar sus propiedades. Así, notó que ambos tipos de cristales eran ópticamente activos y que además, la magnitud de la rotación que cada uno provocaba en un haz de luz polarizada era igual en magnitud pero ocurría hacia lados opuestos, una a la derecha y otra a la izquierda. Igualmente, observó que una mezcla 50:50 de ambas sales era ópticamente inactiva.

Pasteur explicó estos resultados diciendo: “...no hay duda de que en el ácido tartárico dextro existe un arreglo asimétrico que tiene una imagen no superponible. Y no es menos cierto que los átomos del ácido levo poseen precisamente el arreglo asimétrico inverso”.

La capacidad de predicción de Pasteur fue extraordinaria, pues 25 años después, sus hipótesis fueron confirmadas. En 1874, el alemán **Van't Hoff** y el francés **Le Bel**, propusieron independientemente una explicación para la asimetría de las moléculas ópticamente activas, señalando que todas ellas poseían al menos un átomo de carbono unido a cuatro sustituyentes diferentes. Esta asimetría era la responsable de la imposibilidad de superponer las imágenes especulares correspondientes a las formas dextro y levo.

1.2 Carbohidratos

1.2.1 Definición química

Históricamente los **carbohidratos** o **hidratos de carbono**, como se les conocía antes, deben su nombre a que en su fórmula mínima los átomos de carbono van unidos con átomos de hidrógeno y oxígeno que están entre sí en la relación de dos a uno, que es la misma relación entre los átomos de hidrógeno y oxígeno cuando forman agua, de ahí la errónea idea de que los carbohidratos estaban formados por átomos de carbono unidos a determinado número de moléculas de agua.

Funcionalmente, se definen como funciones mixtas formadas por grupos hidroxilo provenientes de los alcoholes y grupos carbonilo provenientes de aldehídos o cetonas. Es decir, pueden ser polihidroxialdehídos o polihidroxiketonas, dependiendo de los grupos funcionales presentes.



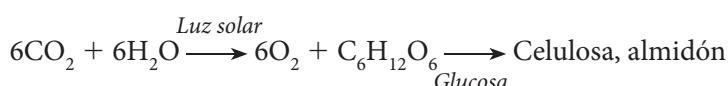
Figura 12. Por medio de la fotosíntesis se construyen la mayoría de los carbohidratos que luego son utilizados por otros organismos.



La gran mayoría de los carbohidratos son sintetizados por las plantas verdes durante la fotosíntesis, un proceso complejo en el cual el dióxido de carbono se convierte en glucosa (figura 12).

Muchas moléculas de glucosa son unidas químicamente y almacenadas por la planta en forma de celulosa o almidón. Se ha hecho una estimación de que más del 50% del peso seco de la biomasa del planeta, incluyendo animales y plantas está formada por polímeros de glucosa. Cuando se ingieren y se metabolizan, los carbohidratos constituyen la principal fuente de energía para los organismos. De esta forma los azúcares actúan como los intermediarios químicos en los que la energía solar se almacena y se utiliza para sostener el ciclo de la vida.

De forma abreviada la fotosíntesis se puede representar de la siguiente manera:



1.2.2 Clasificación

De manera general, los carbohidratos se pueden dividir en **simples** y **complejos**. Los azúcares simples, como la glucosa, son carbohidratos que no pueden ser hidrolizados en moléculas más pequeñas. Los carbohidratos complejos están constituidos por la unión de dos o más azúcares simples. Por ejemplo, la sacarosa es un dímero compuesto por dos unidades de glucosa, mientras que la celulosa es un polímero de la glucosa. De acuerdo con el número de unidades simples que posea un carbohidrato, podemos diferenciar: **monosacáridos**, **disacáridos** y **polisacáridos**. Los monosacáridos son azúcares simples, los disacáridos están compuestos por dos monosacáridos y los polisacáridos, por más de dos unidades simples.

Dentro de los monosacáridos podemos encontrar varios tipos de azúcares, de acuerdo con el número de carbonos que posea la molécula. Así, las triosas tienen 3 carbonos, las pentosas 5, y las hexosas, 6 carbonos. Por otro lado, según el grupo funcional, los monosacáridos pueden ser **aldosas**, si tiene el grupo aldehído, o **cetosas**, si tiene un grupo cetónico (figura 13).

1.2.3 Monosacáridos

Los azúcares son moléculas complejas con más de un carbono quiral, por lo que el número de estereoisómeros posibles puede ser grande. Por ejemplo, una pentosa, con 3 carbonos quirales tiene $2^3 = 8$ estereoisómeros posibles y una hexosa, con 4 carbonos quirales, tiene $2^4 = 16$ estereoisómeros posibles. Sin embargo, de todos los posibles estereoisómeros, en la naturaleza sólo se presentan unos pocos, como veremos a lo largo de estas páginas.

El gliceraldehído es el monosacárido más sencillo que existe (figura 14). Con base en su estructura se define otra clasificación de los carbohidratos: los tipos D y L.

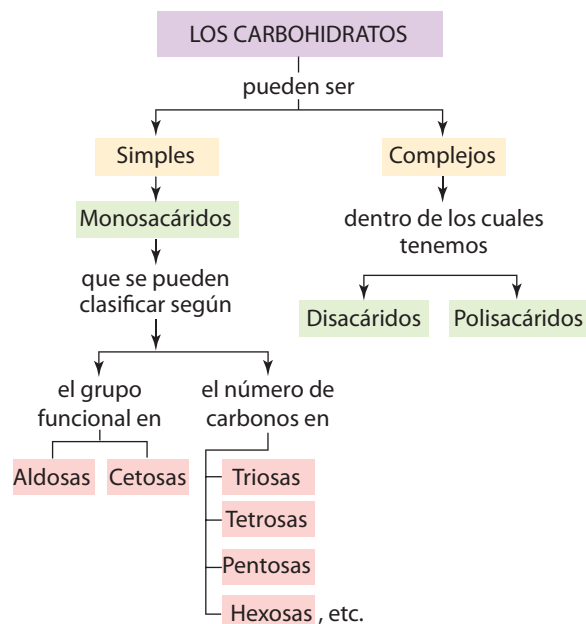


Figura 13. El esquema resume las diferentes clasificaciones de los carbohidratos según diversos aspectos de su estructura.

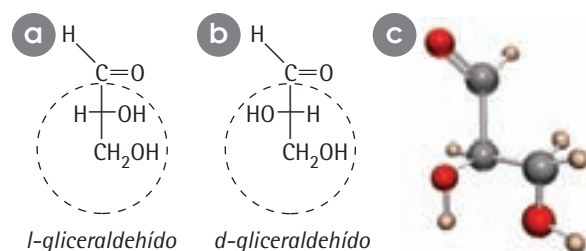


Figura 14. El gliceraldehído es el monosacárido más sencillo, con dos enantiómeros. a) Enantiómero d, b) enantiómero l y c) modelo tridimensional.

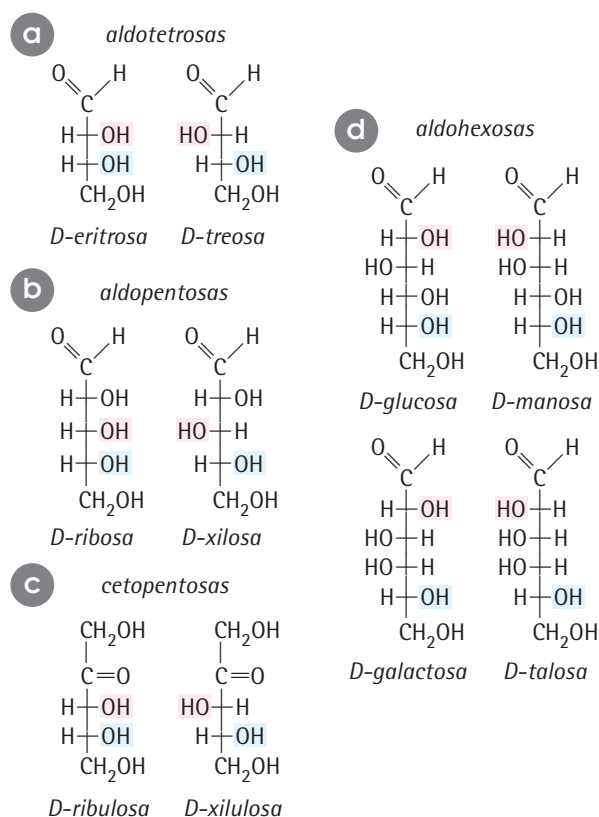


Figura 15. Estructuras de algunos monosacáridos en sus formas D. a) aldotetrosas, b) aldopentosas, c) aldohexosas y d) cetopentosas.

Azúcares D y L

Retomando la figura 14, observa que el d-gliceraldehído se diferencia del l-gliceraldehído en que el grupo OH del segundo carbono, es decir, el carbono quiral está a la derecha o a la izquierda respectivamente. Esto es cierto no sólo en el papel, esquemáticamente, sino en la forma tridimensional de la molécula, por lo que tradicionalmente, a estas configuraciones se las denominó D y L (por dextrógira/derecha y levógira/izquierda). Así, cuando un monosacárido presenta el grupo OH del carbono más alejado del grupo carbonilo —es decir el carbono equivalente al C₂ del gliceraldehído— a la derecha, se denomina D. Igualmente, si el OH está a la izquierda de la molécula es de tipo L. Aún cuando ambas formas son igualmente posibles, en la naturaleza predominan las formas D sobre las L.

Dado que esta denominación es enteramente relativa al gliceraldehído, los carbohidratos D o L con mayor número de carbonos no necesariamente son dextrógiros (d) o levógiros (l). En la figura 15 se muestran algunos enantiómeros de tetrasas, pentosas y hexosas. Nota que todos son tipos D (grupo OH indicado en azul) y que se diferencian entre sí por las posiciones de otros sustituyentes hidroxilo (indicados en rojo).

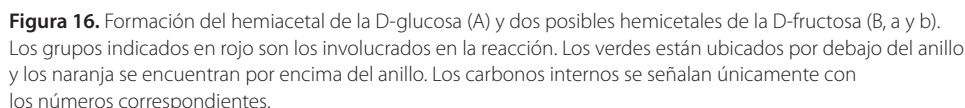
Estructuras cíclicas

Los carbohidratos son moléculas polifuncionales. Como hemos mencionado poseen grupos funcionales hidroxilo o alcoholes y grupos carbonilo, que pueden ser aldehídos o cetonas. Esta situación hace posible la interacción entre diferentes grupos funcionales dentro de una misma molécula.

Recordemos que los alcoholes reaccionan con los aldehídos para formar **hemiacetales** y con las cetonas para dar lugar a **hemicetales**. En las hexosas, esta reacción ocurre, entre el carbono 1 o 2, portadores de los grupos aldehído o cetona respectivamente y el grupo OH del carbono 5, dando como resultado la formación de un anillo heterocíclico, de seis o de cinco miembros, según el caso. En la figura 16 se muestra la formación de la estructura cíclica de la D-glucosa, una aldohexosa y de la D-fructosa, una cetohehexosa.

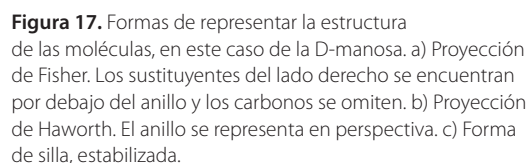
Aún cuando, en teoría, cualquiera de los grupos OH puede dar lugar a una forma cíclica, las formas de 5 y 6 lados son las más frecuentes y estables en la naturaleza. Los carbohidratos cíclicos de cinco átomos se conocen como **furanos** haciendo referencia al furano () , un éter cíclico de cinco puntas. Análogamente, las formas cíclicas de seis puntas se denominan **piranosas**, pues el pirano es un éter cíclico de seis puntas () . Como ya habrás notado, existen varias maneras para representar la configuración tridimensional de una molécula. En la figura 17 se muestran diferentes esquemas, tomando como ejemplo la manosa.

Las estructuras cíclicas de los carbohidratos, al igual que los cicloalcanos, se pliegan para lograr mayor estabilidad (figura 17c). La mayoría de las aldohexosas en solución se encuentran en forma de piranosas y en menor proporción como furanosas.



Dado que el anillo resultante de la formación de hemiacetales y hemicetales, es una estructura más o menos plana, algunos grupos quedan ubicados por debajo del anillo, mientras que otros permanecen por encima de éste. De acuerdo con las posiciones relativas del grupo CH_2OH del carbono 5 y del grupo OH del carbono 1, se pueden tener dos formas isómeras, denominadas α y β . Cuando los grupos CH_2OH y OH se encuentran en relación *cis*, es decir, al mismo lado del anillo, la forma es de tipo β , mientras que, si CH_2OH y OH se encuentran cada uno a un lado del anillo, es decir, en relación *trans*, se tiene un isómero α (figura 18).

La forma β es más estable que la α y por tanto es más abundante en la naturaleza. Esto se debe a que en este caso, los grupos OH se hallan alternados arriba y abajo del anillo.



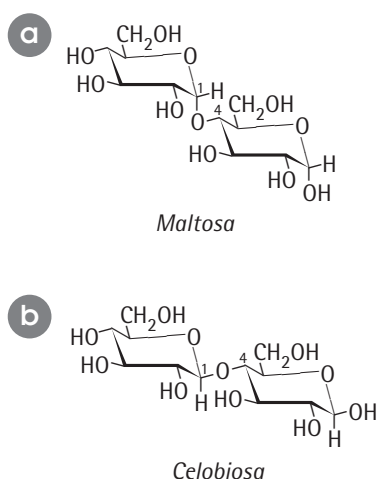


Figura 18. Formación de glicósidos. a) Maltosa: enlace 1,4 (carbonos 1 y 4) entre dos α -D-glucosas y b) celobiosa: enlace 1,4 entre dos β -D-glucosas.

Propiedades físico-químicas

Los monosacáridos presentan un comportamiento similar al de los alcoholes y los compuestos carbonílicos. Así, son muy solubles en agua e insolubles en solventes apolares, debido a que poseen varios grupos OH (polares).

Al igual que los alcoholes, pueden formar éteres, cuando reaccionan con halogenuros de alquilo o ésteres, cuando reaccionan con derivados de ácidos, como los halogenuros de acilo. Los ésteres y éteres derivados de carbohidratos son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos apolares, como el éter, pues carecen de grupos OH libres.

Los grupos carbonilo de las aldosas reaccionan positivamente con los reactivos de Fehling y Tollens. Recordemos que estos reactivos se usan para diferenciar aldehídos de cetonas, pues los primeros se oxidan, mientras que las cetonas no. Estas pruebas se usan para diferenciar **azúcares reductores** (aldosas y algunas cetosas) de **azúcares no reductores** (cetosas y algunos disacáridos). Los azúcares reductores, al oxidarse —es decir al perder electrones— son capaces de reducir el reactivo, produciendo el cambio de color característico. En el caso del reactivo de Tollens se forma un espejo de plata metálica, mientras que en la prueba de Fehling se observa un precipitado rojo ladrillo.

Formación de glicósidos

Una de las reacciones más importantes de los azúcares simples es la formación de **glicósidos**. Se trata simplemente de la formación de un acetal a partir del hemiacetal inicial. Involucra por tanto, el grupo OH del carbono 1 y el OH de cualquiera de los otros carbonos, que por lo general es el carbono 4 (figura 18). De este modo se forman carbohidratos complejos (disacáridos y polisacáridos). El enlace que une a varios monosacáridos entre sí se denomina enlace **glicosídico** y durante su formación se libera una molécula de agua. Análogamente, a través de la hidrólisis en medio ácido, los carbohidratos complejos se pueden descomponer en unidades menores, pues una molécula de agua se incorpora nuevamente al enlace glicosídico, rompiéndolo.

Cuando la unión de dos monosacáridos involucra los carbonos 1 (hemiacetálicos) de ambas moléculas, el disacárido resultante es no reductor, pues los grupos aldehído, susceptibles de ser oxidados se encuentran formando el enlace glicosídico.

Algunos de los disacáridos más comunes son:

- La **sacarosa**: llamada también azúcar de caña, se encuentra especialmente en la caña de azúcar y en la remolacha, aunque también está presente en la patata, el maíz, la zanahoria y otros vegetales. Está formada por una molécula de α -D-glucosa y otra de β -D-fructosa unidas a través de los grupos OH de los hemiacetales, ubicados en el carbono 1 de la glucosa y el carbono 2 de la fructosa. Esto explica por qué la sacarosa es no reductora y no reacciona con el reactivo de Fehling.
- La **lactosa**: es el azúcar presente en la leche. Está constituida por una molécula de α -D-glucosa y otra de β -D-galactosa, unidas por los grupos OH de los carbonos 1 de la glucosa y 4 de la galactosa. Debido a que el enlace glicosídico involucra solo uno de los grupos hemiacetales, la lactosa es un azúcar reductor.

EJERCICIO

¿Por qué se usa corrientemente sacarosa para endulzar los alimentos y no otro azúcar?



- La **maltosa**: se conoce también como azúcar de malta, pues se encuentra en los granos de malta o cebada germinada. Está constituida por dos unidades de D-glucosa, enlazadas por los carbonos 1 y 4 de cada una, por lo que es un azúcar reductor, positivo a las pruebas de Fehling y Tollens.

1.2.4 Polisacáridos

Los polisacáridos son azúcares complejos constituidos por muchas moléculas de monosacárido, por lo que presentan un peso molecular elevado. Se diferencian de los azúcares sencillos en varios aspectos. En primer lugar, no tienen sabor dulce, por lo general son insolubles en agua y, debido al gran tamaño de sus moléculas, se disuelven por medios químicos formando soluciones coloidales. Aunque la mayoría de los polisacáridos presentan un monosacárido terminal con carácter reductor, su contribución a las propiedades de la molécula disminuye al aumentar el tamaño de la misma. En cuanto a su función, los polisacáridos son reservorios de energía y constituyen estructuras rígidas y resistentes que dan soporte a los organismos. Por ejemplo, la madera, en los troncos de los árboles está conformada principalmente por celulosa, un polisacárido de glucosa y el pan, alimento rico en energía se compone de almidón, también polisacárido de la glucosa.

Los polisacáridos más abundantes en los seres vivos son: el almidón, el glucógeno y la celulosa.

- **Almidón**: es la forma más importante de almacenamiento de azúcares en las plantas y se encuentra en forma de gránulos blancos dentro de las células o en órganos especiales, como las raíces (por ejemplo la yuca) y los tubérculos (como la papa).

El almidón está constituido por dos componentes en proporciones 1:3: **amilasa** y **amilopectina**. La amilasa es un polímero no ramificado de alrededor de 600 unidades de α -D-glucosa, unidas por enlaces 1,4. La amilopectina, está constituida por cerca de 6.000 unidades de α -D-glucosa unidas por enlaces 1,4 y 1,6. Estos últimos dan lugar a ramificaciones en las cadenas lineales (figura 19).

- **Glucógeno**: es similar a la amilopectina, pero más ramificada y constituida por unas 100.000 unidades de α -D-glucosa, enlazadas también por los carbonos 1-4 y 1-6. Es la forma como los animales almacenan energía. En los mamíferos el glucógeno se acumula principalmente en el hígado, desde donde se liberan unidades de glucosa según las necesidades del organismo (figura 20).

- **Celulosa**: constituye el armazón estructural de las células vegetales, confiriéndole así la rigidez y resistencia propia de algunas partes de las plantas, como troncos y cascarnes de algunas frutas. Está conformada por cadenas lineales de unas 3.000 unidades de β -D-glucosa ligadas por enlaces 1,4 (figura 21).

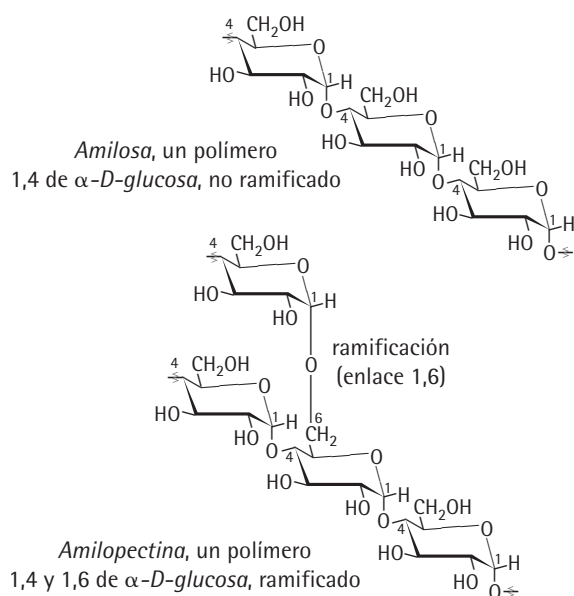


Figura 19. El almidón está constituido por amilosa y amilopectina.

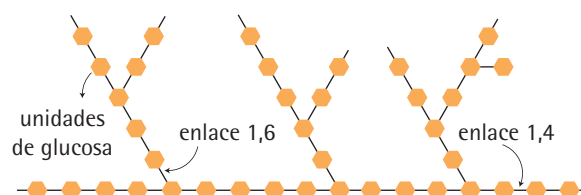


Figura 20. El glucógeno es un polisacárido similar a la amilopectina, pero más ramificado y con mayor número de unidades.

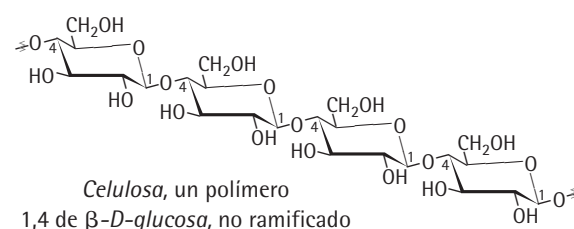


Figura 21. La celulosa es un polímero 1,4 de β -D-glucosa. Estas, aparentemente leves diferencias conformacionales entre celulosa y amilosa, dan lugar a dos compuestos completamente diferentes.

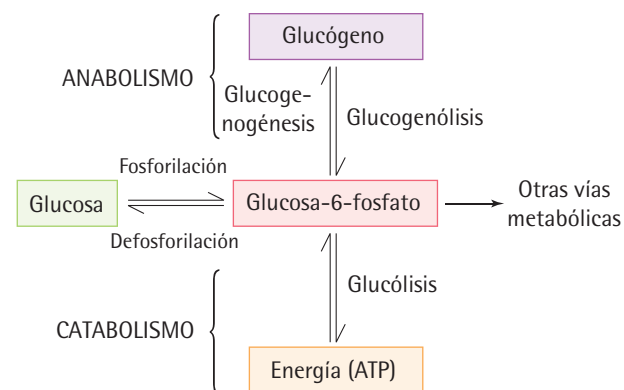


Figura 22. Diferentes vías metabólicas de la glucosa.



Figura 23. La diabetes es un desorden metabólico en el cual los niveles de glucosa en la sangre no se mantienen dentro de límites normales. Esto es debido a la falta de una hormona: la insulina.

1.3. Metabolismo de carbohidratos

El metabolismo es el conjunto de transformaciones físico-químicas (especialmente las producidas por la acción enzimática) que ocurren en un organismo vivo, así como su integración y regulación. A continuación se presenta en forma muy breve los distintos estadios que atraviesan los carbohidratos cuando son ingeridos a través de la dieta.

- **Digestión salivar:** al masticar los alimentos ingeridos por la boca, se trituran en pequeños fragmentos y se mezclan con la saliva. La saliva contiene una enzima, llamada **ptialina**, que cataliza la hidrólisis del almidón en maltosa, un disacárido de glucosa.
- **Digestión gástrica:** una vez en el estómago, los alimentos se mezclan con los **jugos gástricos** en un medio ácido, con lo cual se facilita la hidrólisis de las unidades menores de maltosa, amilopectina y amilasa, en glucosa.
- **Digestión intestinal:** del estómago, los almidones parcialmente digeridos pasan al intestino delgado, donde una serie de enzimas se encargan de romper los enlaces entre estos disacáridos, liberando monosacáridos.
- **Absorción:** los monosacáridos, como glucosa, fructosa y galactosa son entonces absorbidos a través de las células que recubren el intestino delgado y pasan al torrente sanguíneo. Una vez allí son distribuidos a los diferentes tejidos del cuerpo donde son utilizados para obtener energía.
- **En las células:** en las células animales y especialmente en los mamíferos, los diferentes monosacáridos son convertidos enzimáticamente a glucosa, que es el principal combustible del organismo. La glucosa es luego fosforilada, es decir, se adiciona una unidad de fosfato a su estructura, a través de un proceso que requiere energía. Esta energía es suministrada por una molécula conocida como **ATP** o **adenosintrifosfato**. De esta forma se obtiene la glucosa 6-fosfato, desde y hacia la cual confluyen varias rutas metabólicas (figura 22). Algunas de estas son:
 - **Glucólisis:** para obtener energía de la glucosa es necesario romper los enlaces entre los átomos que la conforman. Esto se hace a través de varios pasos, cada uno de los cuales implica la acción de una enzima específica.
 - **Glucogenogénesis:** después de una comida rica en carbohidratos, la glucosa absorbida pero no utilizada de inmediato se convierte en glucógeno y es almacenada como reserva energética.
 - **Glucogenólisis:** consiste en la degradación del glucógeno a moléculas de glucosa, que son luego distribuidas a lugares en el cuerpo donde se necesite energía, como el cerebro o los músculos.
 - **Gluconeogénesis:** cuando las reservas de glucosa del cuerpo se agotan y no ocurre ingestión de los mismos, las células pueden fabricar glucosa, a partir de otros compuestos orgánicos como proteínas o pequeños ácidos, con un considerable gasto de energía. Esto se hace porque algunos órganos, como el cerebro, no pueden obtener energía de fuentes distintas a la glucosa.

La ocurrencia de una u otra de estas vías metabólicas depende de los requerimientos del organismo (figura 23).

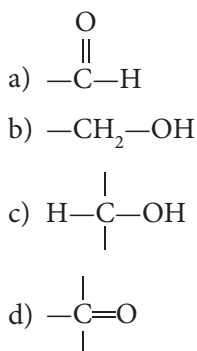
EJERCICIO

Consulta acerca de los problemas orgánicos ocasionados por el exceso de azúcar en la sangre (hiperglicemia) y por su deficiencia (hipoglicemia).



Interpreta

- Los carbohidratos son moléculas de vital importancia para las actividades de la mayoría de los seres vivos. Menciona dos ejemplos de carbohidratos y explica su aporte a nivel nutricional a la dieta del ser humano.
- El almidón, el glucógeno y la celulosa son ejemplos de polisacáridos presentes en plantas y animales. Indica en cuál de estos organismos está almacenada la glucosa como almidón. Explica cómo este es degradado por el otro organismo para utilizarlo en sus procesos metabólicos.
- Los carbohidratos se presentan en diversas formas como son los monosacáridos, los oligosacáridos, los polisacáridos, las aldosas y las cetosas. Determina y escribe a qué carbohidrato se refiere cada grupo de características:
 - Polihidroxicetona _____
 - Polímero con más de diez unidades de sacárido _____
 - Polímero de dos a diez unidades de polisacárido _____
 - Polihidroxialdehído _____
 - Unidad de carbohidrato _____
- El término “carbohidrato” deriva de un antiguo concepto que hace referencia a hidratos de carbono. Sin embargo, sus verdaderas estructuras químicas provienen de los aldehídos y las cetonas polihidroxiladas. Con base en lo anterior, observa las siguientes estructuras y establece semejanzas y diferencias entre ellas:

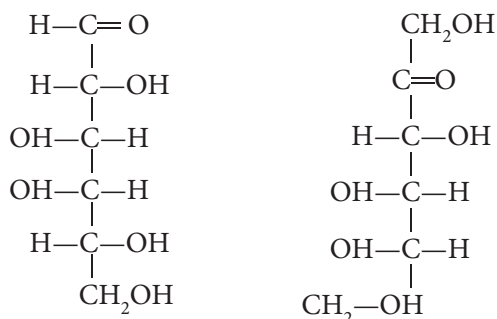


- Explica con un ejemplo qué tipo de isomería se presenta en los carbohidratos.



Argumenta

- Observa las siguientes estructuras. Señala con un círculo, en cada estructura, el carbono que permite clasificarla como dextrógiro o levógiro, y escribe su correspondiente nombre:



Propone

- Un químico olvidó rotular los tubos A y B, con los nombres de los compuestos que contienen; sabe que la fórmula molecular de ambos es $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Además conoce que son sustancias diferentes y que no son alquenos ni compuestos cíclicos. Responde:
 - ¿Qué tipo de funciones orgánicas son A y B?
 - ¿Qué pruebas debe realizar el químico para identificar cada uno de los compuestos?
- Diseña un procedimiento de laboratorio que te permita diferenciar azúcares reductores de azúcares no reductores.
- Cuando las reservas de glucosa del cuerpo se agotan y no hay ingestión, las células pueden fabricar la glucosa a partir de otros compuestos orgánicos como proteínas y otros ácidos, con un considerable gasto de energía.
 - Describe dos situaciones en las que una persona llega a este límite.
 - Escribe el nombre que recibe esta etapa en el proceso del metabolismo.
 - Explica las consecuencias que debe enfrentar una persona que llega a esta etapa.
- Las personas que desarrollan ejercicio físico, de manera exagerada o sin calentamiento sufren de fatiga muscular. Explica la razón por la cual se presenta esta situación.

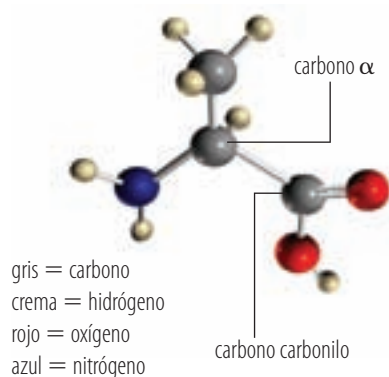


Figura 24. Modelo tridimensional de la alanina, uno de los aminoácidos más sencillos, donde el grupo R es un radical CH_3 .

2. Aminoácidos y proteínas

Los aminoácidos son como los ladrillos de una construcción a partir de los cuales se fabrican las proteínas. Aunque existen más de 300 aminoácidos diferentes en la naturaleza, sólo 20 hacen parte de las proteínas presentes en los seres vivos. Las proteínas constituyen un tipo de macromolécula con múltiples funciones. Veamos.

2.1 Introducción

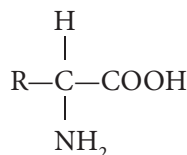
Las **proteínas** son polímeros cuyos monómeros son los aminoácidos. Las propiedades biológicas de proteínas se relacionan con el tipo de aminoácidos constituyentes y el orden en que estos se encuentren acoplados. Estas condiciones determinan la estructura tridimensional de las proteínas, la cual tiene gran importancia biológica.

Las proteínas desempeñan funciones muy variadas en los organismos vivos. Por ejemplo, constituyen el soporte físico del cuerpo, en el metabolismo, sirven como hormonas, portadores de vitaminas, oxígeno y bióxido de carbono y como enzimas. También llevan a cabo actividades de señalización y defensa. Así, la piel y las uñas están hechas de queratina, la seda de fibroína, los tendones y los cartílagos de colágeno, para nombrar sólo algunos ejemplos de proteínas estructurales. Las hormonas insulina y glucagón son ejemplos de proteínas con función reguladora. Específicamente, estas hormonas se encargan de regular los niveles de glucosa en la sangre. Por último, los anticuerpos son también proteínas encargadas de la defensa del organismo.

2.2 Aminoácidos

2.2.1 Estructura

Los aminoácidos constituyen una clase de compuestos orgánicos que contienen simultáneamente los grupos funcionales amino (NH_2) y carboxilo (COOH). Aquellos que forman parte de las proteínas en los seres vivos poseen los grupos COOH y NH_2 unidos al carbono α (el carbono adyacente al carbono carbonilo), por lo que se conocen como α -aminoácido. La estructura general de un α -aminoácido es:



La identidad del grupo R diferencia un aminoácido de otro. Por ejemplo, en la glicina R es un átomo de hidrógeno, mientras que en la alanina es un radical CH_3 (figura 24).

Nota que a excepción de la glicina, el carbono α de cualquier otro aminoácido es quiral o asimétrico. Por lo tanto, los aminoácidos son ópticamente activos y poseen enantiómeros D y L, de los cuales sólo los α -L-aminoácidos están presentes en los seres vivos (figura 25).

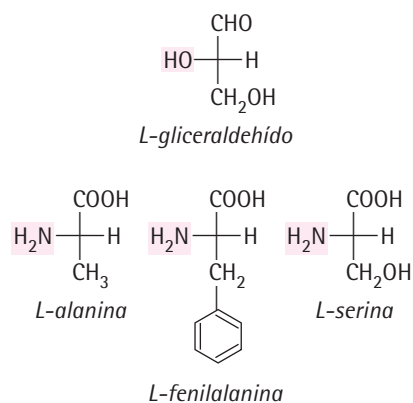


Figura 25. Al igual que los azúcares L y D, los L-aminoácidos derivan su nombre de su similitud estequiométrica con el L-gliceraldehído.



2.2.2 Nomenclatura

Los aminoácidos son, desde el punto de vista de su estructura, aminas sustituidas. Sin embargo, en la mayoría de los casos y especialmente aquellos de interés bioquímico, se conocen a través de nombres comunes y de abreviaturas derivadas de éstos. En la figura 26 se muestran las estructuras, nombres y abreviaturas de algunos aminoácidos.

2.2.3 Clasificación

Como mencionamos anteriormente, lo que caracteriza a los diferentes aminoácidos es el grupo R unido al carbono α . En este sentido, existen aminoácidos **neutros**, **ácidos** y **básicos**. En los neutros el grupo R carece de carga y las cargas de los grupos NH_2 y COOH disociados, se equilibran. En este caso, R puede ser alifático o aromático (figura 26a). En los ácidos, R presenta un grupo COOH adicional, por lo que a pH neutro (cerca de 7,3 en el interior de las células) estos aminoácidos se encuentran disociados, como iones carboxilato (figura 26b). Por último, los básicos poseen un grupo R capaz de protonarse, por ejemplo, un grupo amino, el cual al pH celular se encuentra en forma de ion amonio (figura 26c).

De acuerdo con los requerimientos nutricionales de los organismos, los aminoácidos se clasifican como **esenciales** y **no esenciales**. Los primeros son aquellos que un organismo no puede sintetizar por sí mismo y por consiguiente deben obtenerse a través de la dieta. Para el hombre los aminoácidos esenciales son los siguientes: triptófano, lisina, fenilalanina, leucina, isoleucina, valina, treonina y metionina.

EJERCICIO

Elabora una lista de alimentos que consumas y que estén constituidos por proteínas.

a Aminoácidos neutros <i>Grupo R alifático, apolar</i> $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Alanina (Ala) $\text{H}-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Glicina (Gli) $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Valina (Val) $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{H}_3\text{C})-\text{COO}^-$ Leucina (Leu) <i>Grupo R alifático, polar</i> $\text{HS}-\text{CH}_2-\underset{\text{N+H}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Cisteína (Cis) $\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C}-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Asparagina (Asn) $\text{HO}-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Serina (Ser) $\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{H+NH}_3}{\overset{\text{OH}}{\text{C}}}-\text{CH}(\text{OH})-\text{COO}^-$ Treonina (Tre)	<i>Grupo R aromático</i> $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Fenilalanina (Phe) $\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Tirosina (Tir)	b Aminoácidos ácidos $-\text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Ácido glutámico o glutamato (Glu) $-\text{OOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Ácido aspártico o aspartato (Asp) c Aminoácidos básicos $\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{+NH}_2}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{N}-(\text{CH}_2)_3-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Arginina (Arg) $+\text{H}_3\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\underset{\text{+NH}_3}{\overset{\text{H}}{\text{C}}}-\text{COO}^-$ Lisina (Lis)
---	---	---

Figura 26. Clasificación de los aminoácidos de acuerdo con el tipo de radical R unido al carbono α . Entre paréntesis se indica la abreviatura del nombre.

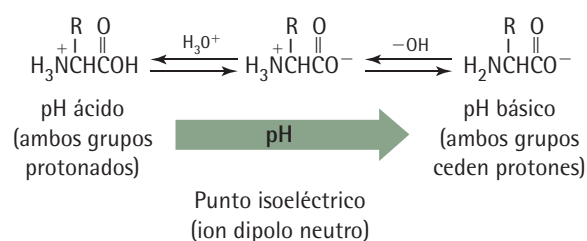


Figura 27. Punto isoelectrico de un aminoácido, en el cual el grupo carboxilo se encuentra disociado (COO^-) y el grupo amino, protonado (NH_3^+), por lo que la molécula no posee carga eléctrica.

2.2.4 Propiedades

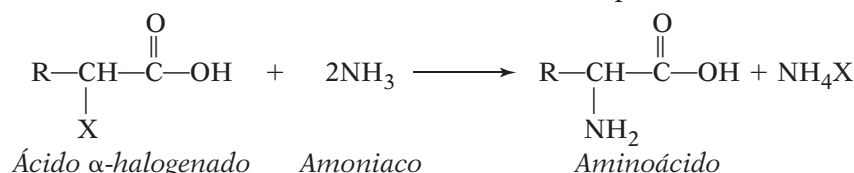
- **Físicas:** retomando la información contenida en la figura 3, los aminoácidos cuyo grupo R es apolar son hidrófobos, es decir, no solubles en agua, mientras que aquellos en los cuales R es polar son hidrófilos y solubles en agua. En general, los aminoácidos son sólidos cristalinos iónicos. Sus puntos de fusión son más altos que los correspondientes a moléculas orgánicas de peso molecular semejante.
- **Químicas:** al poseer en la molécula un grupo carboxilo y un grupo amino, los aminoácidos presentan carácter **anfótero**, es decir, actúan como ácidos y como bases dependiendo del medio donde se encuentren. Si la solución está saturada con iones H^+ (pH bajo), ambos grupos se encuentran protonados (como COOH y NH_3^+ , respectivamente), por lo que el aminoácido tiene una carga positiva.

En medios básicos, el grupo COOH se encuentra disociado, como COO^- y el grupo amino se presenta como NH_2 , por lo que el aminoácido posee carga negativa. En otras palabras, ambos grupos ceden protones a la solución. De acuerdo con lo anterior, en algún valor de pH un aminoácido dado se encuentra en equilibrio, en forma de ion dipolar neutro, con el grupo carboxilo disociado (COO^-) y el grupo amino, protonado (NH_3^+). Este valor se conoce como **punto isoelectrico** (figura 27). Nota que los aminoácidos presentados en la figura 26 se muestran en su forma dipolar.

El punto isoelectrico de cada aminoácido depende de su estructura. Así, los aminoácidos neutros presentan su punto isoelectrico cerca al pH neutro, mientras que los aminoácidos ácidos, encuentran el equilibrio a pH más bajo, de manera que se logre inhibir la disociación del grupo COOH adicional. De modo similar, los aminoácidos básicos tienen puntos isoelectricos a pH más alto, para así evitar la protonación del segundo grupo amino (figura 28).

2.2.5 Síntesis

- **A partir de ácidos α -halogenados:** cuando un ácido α -halogenado se trata con amoníaco se obtiene el aminoácido correspondiente:

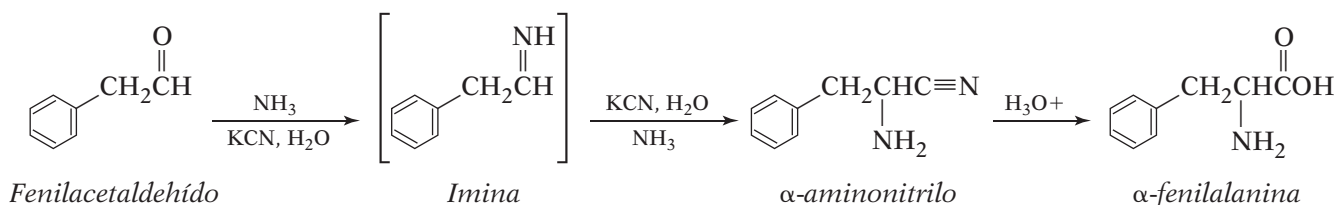


Observa que el grupo R presente en el ácido se conserva en el aminoácido, por lo que, a través de este método es posible sintetizar aminoácidos específicos.

- **Síntesis cianhídrica:** llamada también **método de Strecker**, se fundamenta en la acción del ácido cianhídrico sobre el grupo carbonilo de un aldehído, para formar una cianhidrina, que luego, en presencia de amoníaco, experimenta la sustitución de un grupo OH por un NH_2 , dando lugar a un amino-nitrilo. Este compuesto, por hidrólisis, genera el aminoácido. A continuación se muestra la síntesis de fenilalanina, a través de este método:



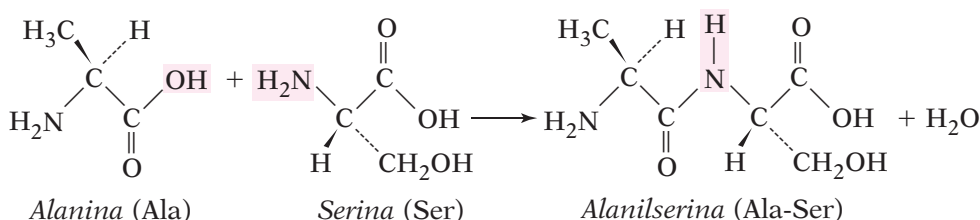
Figura 28. La electroforesis es un método empleado para separar los diferentes aminoácidos de una mezcla según la carga de cada uno a pH neutro.



2.3 Proteínas

2.3.1 Generalidades

Las proteínas son polímeros de aminoácidos. Debido a que incluyen, por lo general muchas unidades, son compuestos de elevado peso molecular. La unión entre aminoácidos ocurre a través de la reacción entre el OH del grupo carboxilo de uno de los aminoácidos y el grupo amino de otro, con pérdida de una molécula de agua, como se muestra a continuación, para alanina y serina:



Este enlace se conoce como **enlace peptídico** y es similar al que da origen a las amidas. Observa que los extremos de este dímero poseen un grupo NH_2 (extremo N-terminal) y un grupo COOH (extremo C-terminal), susceptibles de reaccionar con otros aminoácidos, y de esta forma, ampliar la cadena peptídica.

2.3.2 Clasificación

De acuerdo con el número de aminoácidos que se encuentren acoplados, las cadenas se denominan **di**, **tri**, **tetra** o **polipéptidos**. Un **péptido** es una proteína relativamente pequeña, de 50 o menos aminoácidos. Cuando la cadena de aminoácidos es mayor se habla de proteínas, en forma general.

Por otro lado, si una proteína se compone únicamente de α -aminoácidos se denomina **simple**, mientras que, si posee otros compuestos orgánicos en su estructura, como carbohidratos, lípidos o fosfatos, entre otros, se trata entonces de una proteína **conjugada** (figuras 29 y 30). Estos grupos, no proteicos reciben el nombre de **grupos prostéticos**. Por último, las proteínas se dividen en **fibrosas** y **globulares**, de acuerdo con su forma. Las fibrosas están constituidas por cadenas lineales de polipéptidos, arreglados en filamentos, por lo que suelen ser de consistencia oleosa e insolubles en agua. Estos rasgos hacen que sean materiales muy resistentes, por lo que encontramos proteínas fibrosas en las uñas, los músculos o los tendones. Por su parte, las proteínas globulares son semiesféricas, compactas, poseen cierta movilidad y son solubles en agua, razones por las cuales son, en su mayoría, enzimas.



Figura 29. Entre las proteínas simples se encuentran la ovoalbúmina, presente en la clara de huevo, y la globulina, presente en la yema del huevo.

	Nombre	Función/Ocurrencia
Proteínas globulares	Colágenos	Pezuñas de animales y tendones
	Elastinas	Vasos sanguíneos y ligamentos
	Fibrinógenos	Intervienen en la coagulación de la sangre
	Queratinas	Piel, lana, plumas, seda, uñas, etc.
	Miosinas	Músculos
Proteínas fibrosas	Hemoglobina	Transporte de oxígeno
	Inmunoglobulinas	Respuesta inmune
	Insulina	Regulación del metabolismo de la glucosa

Figura 30. Las proteínas pueden ser fibrosas o globulares.



Figura 31. Reacción de Biuret para identificación de proteínas.

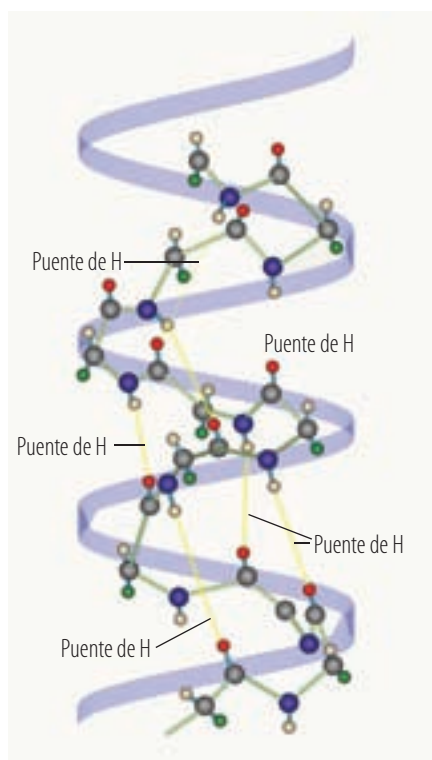


Figura 32. Estructura secundaria tipo hélice α .

2.3.3 Propiedades

- **Desnaturalización:** cuando las proteínas se calientan, se exponen a la acción de radiación ultravioleta o se tratan con soluciones de diferente naturaleza, alcohol, ácidos o bases diluidas, acetona, etc. experimentan cambios muy notables en su solubilidad y en sus propiedades biológicas. En la mayoría de los casos estos cambios son irreversibles. Estudios realizados con rayos X muestran que la desnaturalización de las proteínas origina una disposición más al azar de las moléculas del polímero de proteína.
- **Punto isoelectrico:** dado que los extremos N-terminal y C-terminal de una proteína conservan la capacidad de ionizarse dependiendo del medio en donde se encuentre dicha proteína, es posible definir el punto isoelectrico de un polipéptido como el pH al cual los iones positivo y negativo se encuentran en equilibrio. Este valor, al igual que en los aminoácidos, varía de una proteína a otra.
- **Reacciones coloreadas:** existen una serie de pruebas químicas para determinar la presencia de proteínas en una solución o para identificar tipos específicos de aminoácidos en una proteína. Las pruebas más importantes son:
 - **Reacción de Biuret:** al mezclar una solución diluida de sulfato cúprico y urea con una solución de proteína débilmente alcalina aparece un color entre rosado y violeta. Esta prueba es muy general y sirve para detectar la presencia de proteínas y péptidos (figura 31).
 - **Reacción xantoproteica:** el ácido nítrico concentrado reacciona con los núcleos aromáticos de los aminoácidos, formando compuestos nitrados de color amarillo intenso. Por lo tanto, esta prueba sirve para determinar la presencia de aminoácidos aromáticos (tirosina, triptófano y fenilalanina).
- **Hidrólisis:** los enlaces peptídicos de una proteína cualquiera se pueden romper si se la trata con un ácido fuerte (por ejemplo, HCl o H_2SO_4) a altas temperaturas (110°C). Si las condiciones son más suaves, se consigue una hidrólisis parcial, en la cual se obtienen segmentos peptídicos más pequeños que los iniciales. En los seres vivos, la hidrólisis de proteínas se realiza enzimáticamente y con una alta selectividad, que permite romper la proteína en puntos específicos. Por ejemplo, la tripsina, es una enzima digestiva que rompe las uniones peptídicas solamente entre lisina y arginina.

2.3.4 Estructura de las proteínas

La mayoría de las propiedades biológicas, físicas y químicas de las proteínas, dependen de la forma tridimensional de las moléculas. Los diferentes rasgos de esta forma son la estructura de una proteína.

- **Estructura primaria:** describe la sucesión de aminoácidos que forman la cadena polipeptídica, sin tener en cuenta las interacciones internas entre diferentes aminoácidos de dicha cadena, que puedan ocasionar su plegamiento.
- **Estructura secundaria:** en este nivel de estructura se describe la interacción entre diferentes secciones polares de la cadena peptídica. Generalmente, estas interacciones se dan entre los grupos amino (específicamente residuos NH) y carboxilo (residuos C=O) de diferentes

EJERCICIO

1. Menciona algunos agentes químicos que producen desnaturalización de las proteínas.
2. ¿Qué ocurre cuando la leche “se corta”?

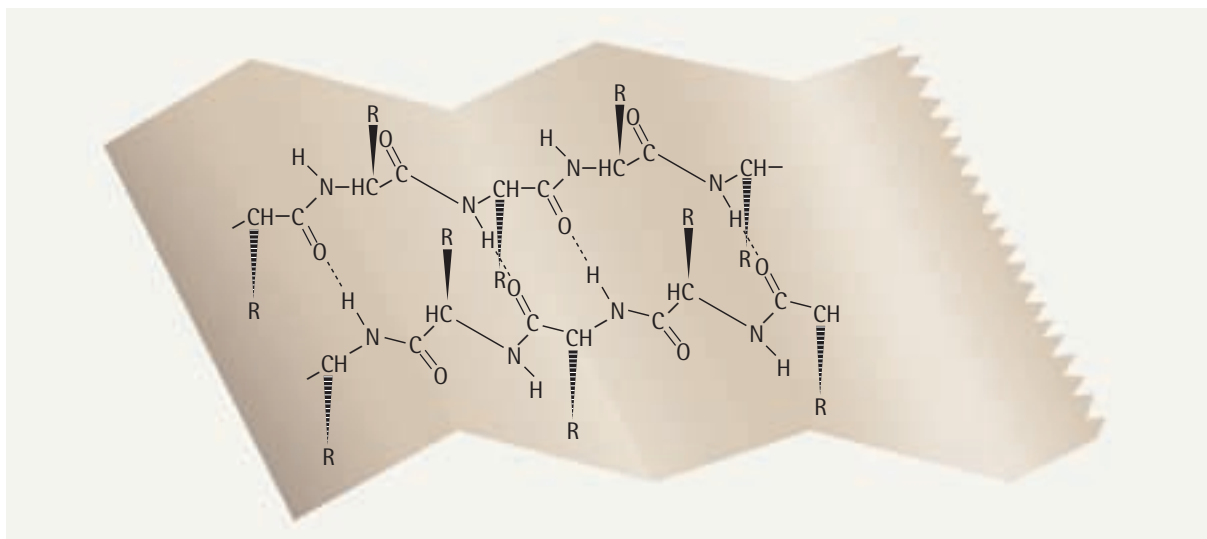


Figura 33. Estructura secundaria tipo lámina β . Típica de proteínas como la fibroína de la seda.

aminoácidos, dando como resultado la formación de puentes de hidrógeno. En algunas proteínas, como las queratinas de lana, pelos y uñas, los puentes de hidrógeno ocurren con una periodicidad tal que se forma una hélice regular, en la cual cada vuelta consta de 3,6 aminoácidos. Esta conformación espacial se conoce como **hélice α** (figura 32). Existe además otra conformación, conocida como **lámina β** , en la cual varias cadenas peptídicas, se encuentran acopladas paralelamente, a través de puentes de hidrógeno entre grupos $C=O$ y NH de diferentes cadenas (figura 33).

- **Estructura terciaria:** describe el plegamiento de estructuras secundarias como hélices y láminas, sobre sí mismas. Las fuerzas causantes de doblar estas estructuras son: **puentes disulfuro**, formados entre aminoácidos como cisteína y metionina y, **fuerzas de repulsión y atracción** entre aminoácidos hidrófobos e hidrófilos con respecto al medio acuoso circundante. De esta forma, los aminoácidos hidrófobos tienden a ubicarse en el interior de las proteínas, lo más alejados posible del agua del medio, mientras que los hidrófilos se ubican en la periferia. El resultado es una estructura tridimensional plegada y enrollada sobre sí misma en patrones complejos (figura 34). Las proteínas globulares son ejemplos de este tipo de conformación.
- **Estructura cuaternaria:** se refiere a la forma en que se agrupan varias proteínas (con una estructura terciaria definida) para formar grandes agregados, multiméricos. Las diferentes proteínas se unen a través de enlaces débiles, no covalentes como puentes de hidrógeno y uniones electrostáticas (figura 35).

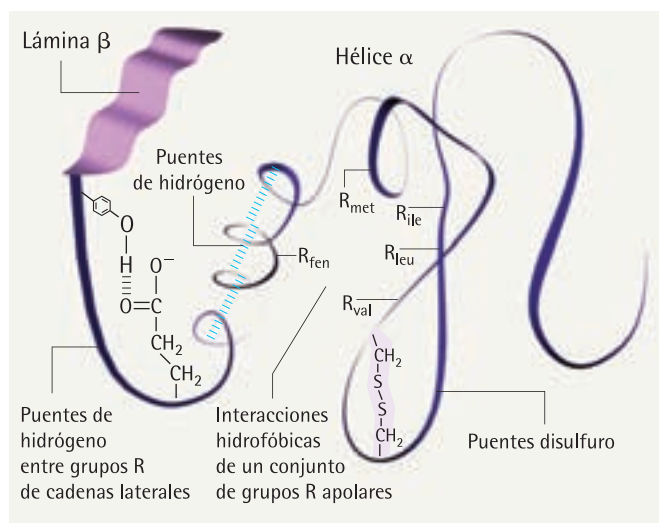


Figura 34. Estructura terciaria hipotética en la cual se encuentran involucradas diferentes fuerzas (puentes de hidrógeno, puentes disulfuro e interacciones hidrofóbicas).

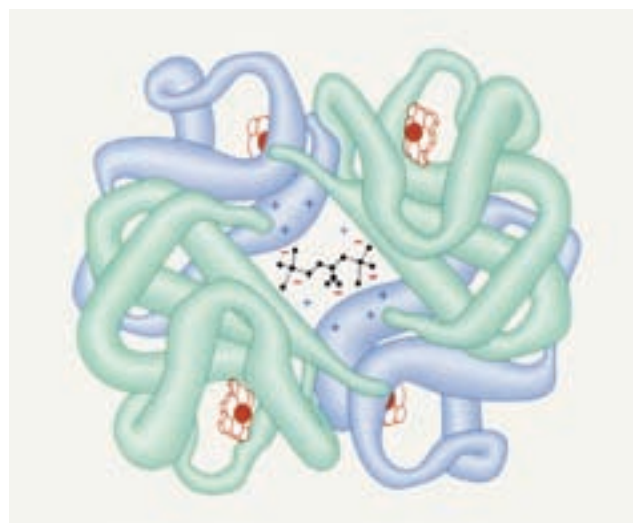


Figura 35. Estructura cuaternaria de la hemoglobina. Esta conformación facilita el transporte de oxígeno por parte de la proteína.



Figura 36. Funciones de las proteínas. Función estructural: a) telarañas, b) plumas y c) cuernos. Función de transporte: d) la hemoglobina transporta el oxígeno hacia todas las células del cuerpo. Función de defensa: e) interacción antígeno-anticuerpo.

2.3.5 Funciones de las proteínas

Las proteínas cumplen numerosas funciones dentro de los organismos vivos, constituyendo cerca del 50% del peso seco de la mayoría de los organismos. A continuación mencionaremos algunas de las más importantes, profundizando especialmente en la acción enzimática de estas macromoléculas.

Función estructural

Las proteínas son el material del cual están hechas muchas estructuras de soporte y protección externa, como la membrana celular, los cilios y los flagelos, las uñas, la piel y el pelo, los tendones y los músculos y las telarañas, entre otras (figura 36a, b y c).

Función de transporte

Algunas proteínas transportan sustancias de un lugar a otro dentro del organismo. Por ejemplo, la hemoglobina presente en los glóbulos rojos de la sangre, es la responsable de la fijación y el transporte de oxígeno, desde los pulmones hacia todas las células del cuerpo (figura 36d). De manera similar, la mioglobina, en los músculos, almacena el oxígeno necesario para la actividad muscular.

Función de defensa

Los **anticuerpos**, que defienden al organismo de agresores externos son proteínas altamente específicas, que sólo actúan en contra de determinados patógenos, como si fueran una imagen especular de estos que los neutralizan. Los patógenos o agresores contienen **antígenos**, que son proteínas opuestas a los anticuerpos (figura 36e).

Función enzimática

Las enzimas son catalizadores biológicos que hacen posible la ocurrencia de reacciones vitales para los organismos, que de otra forma no ocurrirían o para las cuales serían necesarias temperaturas demasiado altas para permitir la supervivencia de dicho organismo. El papel enzimático de las proteínas es de suma importancia por lo que dedicaremos la siguiente sección a este tema.

2.3.6 Las enzimas

Importancia fisiológica

Cada una de las reacciones químicas que se producen en el interior de las células son catalizadas y reguladas por enzimas específicas. Todas estas reacciones están acopladas de tal manera que, la ocurrencia de una es requisito para el inicio de la siguiente. Por esta razón, las enzimas, además de acelerar la velocidad de las reacciones químicas, regulan los procesos metabólicos. Por ejemplo, si la enzima encargada de adicionar un grupo fosfato a la glucosa llega a faltar, esta reacción no se producirá, es decir, no se formará la glucosa-6-fosfato y por tanto, todas las vías metabólicas derivadas de este paso (glucólisis, glucogénesis, etc.) no ocurrirán.

Muchas enfermedades son resultado de alteraciones en la actividad enzimática. Es el caso por ejemplo de la diabetes, producida por la incapacidad del organismo para sintetizar insulina, una enzima encargada de regular los niveles de glucosa en la sangre. Si la concentración de azúcar en el suero sanguíneo es demasiado alta, sobreviene un coma diabético, y en algunos casos, la muerte.



¿Cómo actúan las enzimas?

Como hemos dicho, muchas reacciones no podrían ocurrir bajo las condiciones de pH y temperatura del cuerpo de la mayoría de los organismos que habitan la Tierra. Las enzimas son las responsables de que dichas reacciones tengan lugar. Para ello, las enzimas actúan como una especie de puente que pone en contacto el o los reactantes y facilita la formación del o los productos. La molécula que se modifica para dar lugar al **producto (P)** y sobre la cual actúa directamente la enzima se denomina **sustrato (S)** de la enzima. Cada enzima actúa específicamente sobre un único sustrato o sobre un conjunto de sustratos muy similares en cuanto a la forma tridimensional de las moléculas.

Para ilustrar el modo de acción de las enzimas supongamos la transformación de un sustrato, S, para generar dos moléculas (el producto, P), como se muestra en la figura 37. En un primer paso, la enzima forma un **complejo activado** con el sustrato, de manera que propicia la ruptura de enlaces y por ende la formación de los productos. Al finalizar la reacción, el complejo activado se rompe y la enzima vuelve a su configuración inicial. Recordemos, que los catalizadores se caracterizan porque intervienen en las reacciones sin modificarse en sí mismos. En síntesis, las funciones más importantes de las enzimas durante una reacción son:

- Atraer el sustrato hacia su superficie para favorecer la colisión entre los reactantes.
- Mantener los reactantes en una posición determinada, con la orientación adecuada, para que se puedan formar o romper los enlaces requeridos.

Coenzimas y cofactores

Muchas enzimas necesitan una segunda molécula para cumplir su función catalítica, que puede ser de carácter orgánico o inorgánico. En el primer caso, se habla de una **coenzima**, mientras que, si la molécula adicional es inorgánica se trata de un **cofactor**.

Las enzimas, sin su correspondiente cofactor o coenzima son inactivas y se denominan **apoenzimas**. El conjunto formado por la apoenzima y la molécula adicional, se denomina **holoenzima**.

- **Coenzimas:** son compuestos orgánicos de bajo peso molecular, que —por lo general— deben ser obtenidas de fuentes externas al organismo que las requiere, pues este no es capaz de sintetizarlas. Las **vitaminas** son coenzimas, que deben ser ingeridas en la dieta en dosis muy pequeñas, pero sin las cuales, muchos procesos metabólicos se ven alterados (figura 38).

Vitamina	Función de la holoenzima	Síntomas de deficiencia
Hidrosolubles		
Ácido ascórbico (C)	Hidrolasas	Encías sangrantes, hematomas
Tiamina (B ₁)	Reductasas	Fatiga, depresión
Piridoxina (B ₆)	Transaminasas	Anemia, irritabilidad
Niacina	Reductasas	Dermatitis, demencia
Ácido pantoténico	Aciltransferasas	Pérdida de peso, irritabilidad
Biotina (H)	Carboxilasas	Dermatitis, anorexia, depresión
Liposolubles		
A	Sistema visual	Ceguera nocturna, piel reseca
D	Metabolismo del calcio	Raquitismo, osteomalacia
E	Antioxidante	Lisis de los glóbulos rojos
K	Coagulación de la sangre	Hemorragia, retardo en la coagulación de la sangre

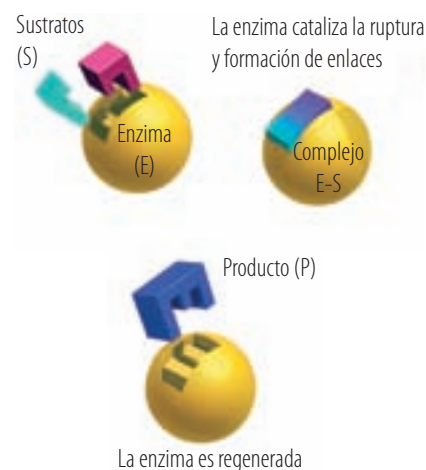


Figura 37. Modo de acción de las enzimas.

Figura 38. Algunas vitaminas, la función que realiza la holoenzima y los síntomas de deficiencia.

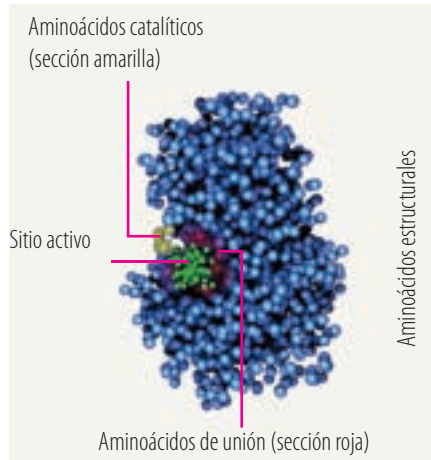


Figura 39. La estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria de las enzimas determina la posición de ciertos aminoácidos en ciertos lugares.

■ **Cofactores:** entre los más importantes están los iones Zn^{2+} , Co^{3+} , K^{+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} y Mn^{2+} . Estos elementos deben ser ingeridos diariamente en dosis muy bajas, por lo que se conocen como **oligoelementos** o **minerales traza**. Entre las reacciones que necesitan coenzimas o cofactores están las oxidorreducciones, las reacciones de transferencia de grupo y las reacciones que forman enlaces covalentes. Por el contrario, las reacciones líticas, es decir que involucran ruptura de moléculas, como la hidrólisis de proteínas y polisacáridos son catalizadas por enzimas que no necesitan componentes adicionales.

Conformación de las enzimas

Para que una enzima pueda ejercer su acción catalítica debe poseer una **conformación tridimensional** especial. Cuando se pierde dicha conformación, ya sea por cambios en la temperatura y el pH del medio o por la presencia de iones u otros reactivos, la enzima pierde su capacidad catalítica. La desnaturalización de las proteínas implica la pérdida de la conformación espacial de las mismas y por tanto de su capacidad funcional.

Las enzimas, como toda proteína, están formadas por gran cantidad de aminoácidos, con una estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria definida, que determina la forma de la molécula. En el caso de las enzimas, podemos identificar tres tipos de aminoácidos:

■ **Aminoácidos estructurales:** constituyen el armazón básico o esqueleto de la molécula.

■ **Aminoácidos de unión o fijación:** participan en la formación del complejo enzima-sustrato o complejo activado. Conforman una sección de la enzima conocida como **sitio activo**, que es el lugar en el cual ocurre el reconocimiento del sustrato por parte de la enzima y posteriormente, las reacciones químicas que modifican dicho sustrato para formar los productos.

■ **Aminoácidos catalíticos:** participan directamente en la transformación química del sustrato (figura 39).

Nomenclatura y clasificación

Hace poco menos de un siglo, sólo se conocían algunas enzimas, muchas de las cuales catalizaban la hidrólisis de enlaces covalentes. Estas enzimas se identificaban por la adición del sufijo **-asa** al nombre de la sustancia o sustrato que hidrolizaban. Con este criterio, por ejemplo, las **lipasas** hidrolizaban las grasas y las **proteasas**, hidrolizaban los enlaces peptídicos en las proteínas. Aunque todavía hoy se usan algunos de estos términos para referirse a las enzimas, los estudios han demostrado que las enzimas catalizan reacciones diferentes en el mismo sustrato, por ejemplo la oxidación o reducción de la función alcohol de un azúcar y aunque el sufijo **-asa** se continúa usando, en la actualidad los nombres de las enzimas se refieren al tipo de reacción catalizada, más que al sustrato. Por ejemplo, las **deshidrogenasas** catalizan la eliminación de hidrógeno y las **transferasas**, catalizan reacciones que implican la transferencia de grupos químicos específicos entre dos moléculas (figura 40).

Clase de enzima	Subclase	Tipo de reacción catalizada
Hidrolasas	Lipasas	Hidrólisis de un grupo éster
	Proteasas	Hidrólisis de un grupo amida
Isomerasas	Epimerasas	Isomerización de un centro estereogénico
Ligasas	Carboxilasas	Adición de CO_2
	Sintetasas	Formación de un nuevo enlace
Liasas	Descarboxilasas	Pérdida de CO_2
	Deshidrasas	Pérdida de agua
Oxidorreductasas	Deshidrogenasas	Introducción de un doble enlace por eliminación de H_2
	Oxidetasas	Oxidación
	Reductetasas	Reducción
Transferasas	Cinasas	Transferencia de un grupo fosfato
	Transaminasas	Transferencia de un grupo amino

Figura 40. El cuadro presenta algunas enzimas, el tipo de reacción que catalizan y el nombre que reciben.



2.3.7 Síntesis de proteínas

En la medida en que las enzimas regulan el metabolismo, controlan casi la totalidad del funcionamiento de un organismo. Si a esto le sumamos la función estructural de las proteínas, vemos que los materiales de los que estamos hechos (piel, pelo, uñas, músculos, etc.) son básicamente proteínas. Eso nos lleva a preguntarnos, ¿mediante qué mecanismo se controla la síntesis de proteínas?, ¿cómo asegura un organismo que la enzima necesaria para un proceso se encuentre en el lugar y momento adecuados? La respuesta está en la genética. Como sabemos, las células de animales, plantas y hongos tienen **núcleo**. Dentro del núcleo se encuentran los **cromosomas**, compuestos básicamente de ácidos nucleicos, de los cuales hablaremos en la siguiente unidad. Por ahora basta con mencionar que la información genética se encuentra codificada en los ácidos nucleicos —específicamente en el **ácido desoxirribonucleico** o **ADN**— de tal manera que la maquinaria encargada de la síntesis de proteínas en las células decodifica o descifra este lenguaje cada vez que una nueva proteína va a ser fabricada. La transferencia de información desde el ADN hasta esta maquinaria se lleva a cabo gracias a la acción de otro ácido nucleico, el **ARN** o **ácido ribonucleico**. Dos tipos de ARN intervienen en la síntesis de proteínas: el **ARN_m** (ARN_m) y el **ARN_t** (ARN_t). El primero se encarga de copiar la información que está en el ADN de los cromosomas y transportarla fuera del núcleo hasta la maquinaria de síntesis. El ARN_t por su parte, traduce el mensaje al lenguaje de los aminoácidos, de modo que transfiere uno a uno, y en el orden correcto, los aminoácidos que deben ser ensamblados para formar la proteína deseada. En la figura 41 se esquematizan las diferentes partes de la célula que intervienen en la síntesis de proteínas. La síntesis propiamente dicha se lleva a cabo en los **ribosomas**, organelos celulares compuestos por proteínas y ácidos nucleicos, ensamblados de tal forma que presentan una forma más o menos globular, con múltiples salientes y depresiones, similares a los sitios activos de las enzimas.

El proceso de síntesis de proteínas se puede resumir en tres etapas:

- **Iniciación:** el primer paso en la síntesis de proteínas es el ensamble del ARN_m a una ribosoma (figura 42a). Luego, una molécula de ARN_t, que es complementaria con una sección específica del ARN_m se une a este y traduce la primera parte del mensaje: el nombre del primer aminoácido que debe ser colocado.

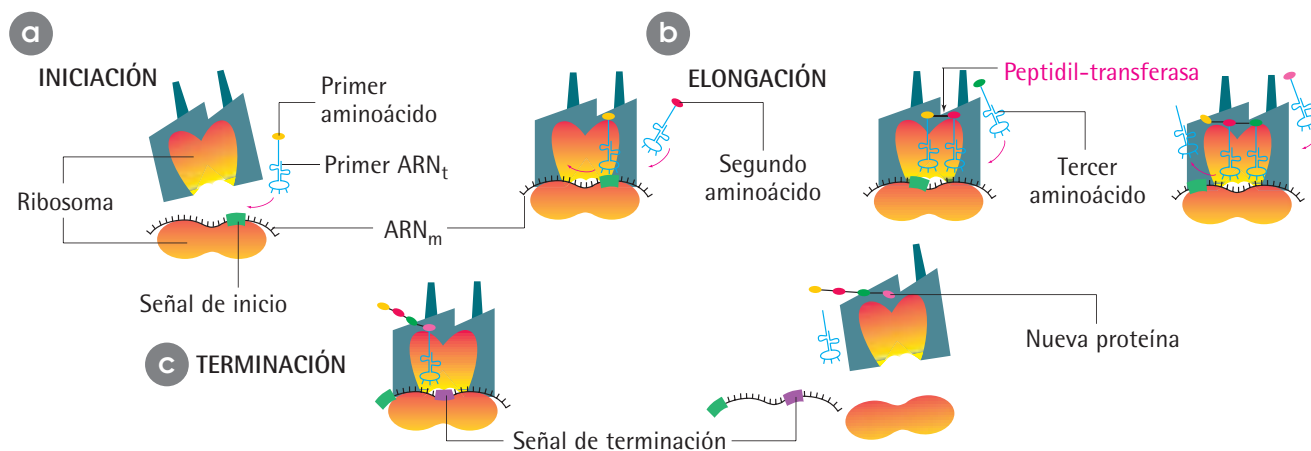


Figura 42. Proceso de síntesis: a) iniciación, b) elongación y c) terminación.

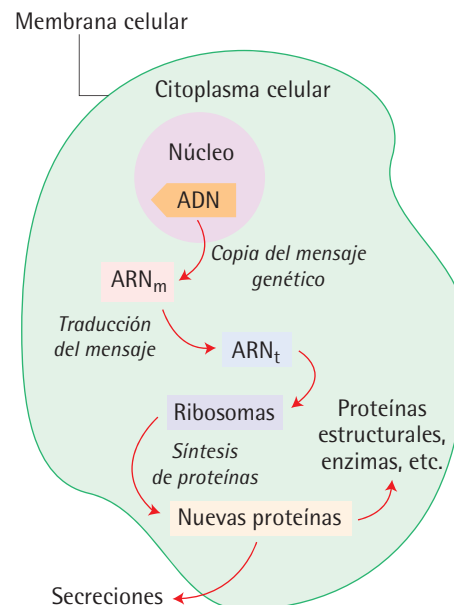


Figura 41. Esquema del proceso de síntesis de proteínas en una célula.

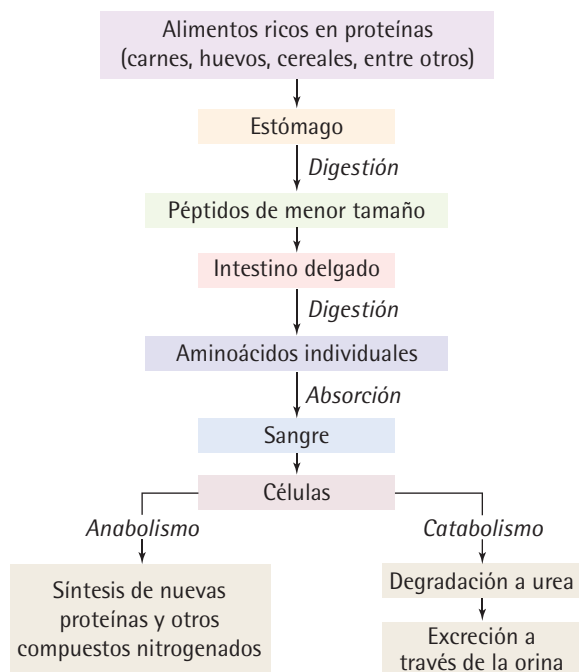


Figura 43. Esquema resumen del metabolismo de aminoácidos y proteínas.

- **Elongación:** en seguida, un segundo ARN_t se acopla con la siguiente sección del ARN_m y transporta el segundo aminoácido, que es unido al primero a través de un enlace peptídico, gracias a la acción de una enzima, conocida como **peptidil-transferasa** (figura 42b). Este paso se repite tantas veces como aminoácidos haya en la proteína que se esté fabricando.
- **Terminación:** la elongación se detiene cuando se llega a una sección del ARN_m en la cual se lee la orden de detener el proceso, por lo que los ARN_t cesan de transportar aminoácidos y el nuevo polipéptido es liberado al citoplasma celular (figura 42c).

2.3.8 Metabolismo de aminoácidos y proteínas

Muchos de los alimentos que consumimos diariamente son ricos en proteínas. Para poder utilizar estas macromoléculas, es necesario romper los enlaces peptídicos que unen los diferentes aminoácidos. De esta forma, es posible utilizar los aminoácidos separados para diferentes propósitos. Recordemos que, para la mayoría de los mamíferos, existen 10 aminoácidos esenciales, los cuales deben ser adquiridos de fuentes externas, pues nuestro organismo no puede sintetizarlos por sí mismo.

La digestión de las proteínas presentes en los alimentos empieza en el estómago. Allí, se secreta una enzima, la **pepsina**, cuya función es catalizar la hidrólisis de los enlaces peptídicos de las proteínas, con el fin de obtener péptidos más pequeños. El interior del estómago, en condiciones habituales, tiene un pH que oscila entre 1,6 y 1,8. Estas condiciones son ideales para la acción de la pepsina, cuyo pH óptimo está entre 1,5 y 2.

Del estómago, los alimentos parcialmente digeridos —que conforman una masa llamada **quimo**— pasan al intestino delgado. Allí, una serie de enzimas, como tripsina, quimotripsina y varias peptidasas, catalizan la ruptura de enlaces entre pares de aminoácidos específicos, con lo cual se van liberando paulatinamente cada uno de los aminoácidos presentes en las proteínas ingeridas.

Los aminoácidos se absorben directamente hacia el torrente circulatorio a través de la mucosa intestinal, mediante un proceso activo que requiere energía y la acción enzimática. Cada grupo de aminoácidos (ácidos, básicos y neutros) es absorbido a través de mecanismos específicos, con velocidades de absorción diferentes.

Los aminoácidos llegan finalmente a las células, donde son empleados, principalmente, para sintetizar nuevas proteínas. En menor medida, el nitrógeno presente en los aminoácidos es utilizado para sintetizar otros compuestos como hormonas, neurotransmisores o ácidos nucleicos (figura 43).

A diferencia de los carbohidratos, los aminoácidos no se almacenan en el cuerpo, para ser utilizados luego, sino que deben ser excretados inmediatamente, si no son requeridos por las células. La principal ruta metabólica para degradar aminoácidos es la síntesis de urea, que es expulsada a través de la orina.

EJERCICIO

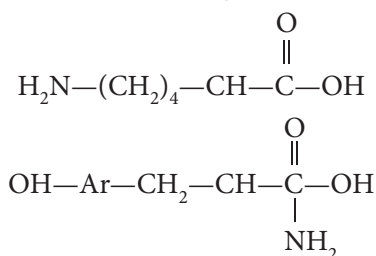
1. Describe con tus propias palabras el proceso de síntesis de proteínas.
2. ¿Qué le ocurre a una enzima cuando se encuentra en condiciones de pH diferentes a las óptimas?
3. Averigua qué enfermedades se relacionan con alteraciones en el metabolismo de compuestos nitrogenados, como los aminoácidos.



Interpreta

- 1 Explica qué tipo de estructuras presentan la hemoglobina, las proteínas globulares y la fibroína de la seda.
- 2 Cuando las proteínas son sometidas a la acción de agentes como el calor, el alcohol, los ácidos o bases experimentan cambios muy notables.
 - a) Responde: ¿Qué nombre recibe este procedimiento?
 - b) Expresa dos ejemplos de la cotidianeidad, en donde se observen estos cambios.
- 3 Responde: ¿Se pueden considerar a las proteínas como polímeros? Justifica tu respuesta.
- 4 Escribe la fórmula estructural de los siguientes aminoácidos:
 - a) Ácido glutámico
 - b) Glicina
 - c) Lisina
 - d) Serina

- 5 Nombra cada una de las siguientes estructuras:



Ar: significa arilo



Argumenta

- 6 En el laboratorio, al realizar el análisis de una muestra, se encuentra que esta es positiva a la reacción del Biuret y negativa a la reacción xantoproteica. Con estos datos determina qué clase de proteína contiene la muestra.
- 7 El colágeno es una proteína fibrosa que forma parte de los tendones y cartílagos, de gran resistencia a la tensión. La elastina es otra proteína que constituye los ligamentos. Explica:
 - a) ¿Cómo actúan las cremas para la piel que contienen colágeno y elastina?
 - b) ¿Cómo están formadas las estructuras de estas proteínas?



8 La queratina que se encuentra en piel, lana, plumas y uñas de animales y el colágeno localizado en pezuñas y tendones, son proteínas conjugadas. Explica:

- a) ¿Cuáles son los grupos prostéticos que acompañan a estas proteínas?
- b) ¿Qué otras proteínas conjugadas puedes mencionar?



9 En el huevo se encuentran dos proteínas fundamentalmente, ovoalbúmina y globulina. Determina:

- a) ¿Qué clase de proteínas son la ovoalbúmina y la globulina?
- b) ¿En qué parte del huevo se encuentran estas proteínas?



Propone



10 Durante la primera etapa después del nacimiento, la leche es el alimento esencial para el ser humano. La leche humana contiene 3,7% de grasa, casi el mismo porcentaje de la leche de vaca, pero con más lactosa y menos proteínas. Se sabe que los recién nacidos alimentados con leche materna contraen menos infecciones que los alimentados con biberón. Responde:

- a) ¿Cuáles son las proteínas y los anticuerpos que contiene la leche materna?
- b) ¿Cuáles son los beneficios de la lactancia para el recién nacido?
- c) ¿Qué modificaciones se le puede hacer a la leche de vaca para que remplace a la leche materna?



11 El mal de Chagas producido por el parásito *Tripanosoma cruzi*, fue descubierto en 1909 por el doctor Carlos Das Chagas. Se desarrolla en las zonas más cálidas y pobres del continente. Desde 1996 algunas instituciones se han encargado de aislar y clonar diversas proteínas del *Tripanosoma cruzi*, para poderlas atacar con un fármaco. Este procedimiento se realiza en el espacio exterior con el fin de obtener cristales homogéneos, más grandes y puros. Explica:

- a) ¿Por qué crees que las proteínas cristalizan mejor en el espacio?
- b) ¿Qué ventajas ofrece este método?
- c) ¿De qué manera supones que un fármaco pueda inhibir la acción de una proteína?



Figura 44. Los lípidos son compuestos insolubles en agua. La formación de gotas de agua sobre la superficie de las hojas se da como resultado de la repulsión entre la superficie cerosa de éstas y las moléculas de agua.

3. Lípidos

Los lípidos, a diferencia de los carbohidratos y las proteínas, conforman un grupo de compuestos orgánicos con estructuras químicas diversas, pero que tienen en común un sólo rasgo: son insolubles en agua y muy solubles en compuestos no polares. Así mismo, las funciones que cumplen en los organismos vivos son muy diversas, como veremos en seguida.

3.1 Estructura y clasificación

Dentro de los lípidos podemos encontrar funciones orgánicas diversas, como ésteres, amidas, alcoholes y acetales, entre otros. Igualmente, muestran una gran variedad estructural, desde cadenas hidrocarbonadas lineales y no ramificadas hasta diversos complejos cíclicos. Todos estos compuestos se agrupan por una propiedad física: su solubilidad en compuestos orgánicos, apolares como éter, cloroformo y benceno, así como su insolubilidad en agua (figura 44). La palabra lípido proviene de *lipos*, que significa grasa.

A partir de la estructura de las moléculas, los lípidos se pueden dividir en dos grandes grupos: **lípidos hidrolizables** y **lípidos no hidrolizables**.

3.2 Lípidos hidrolizables

Los lípidos hidrolizables son **ésteres de ácidos grasos** y se caracterizan porque bajo la acción de ácidos o bases fuertes o de enzimas digestivas se descomponen en dos o más compuestos menores. En este grupo se incluyen **ceras**, **grasas** y **aceites**.

3.2.1 Ácidos grasos

Los **ácidos grasos** son ácidos orgánicos, es decir, presentan un grupo COOH y se caracterizan porque poseen una larga cadena hidrocarbonada, no ramificada, al final de la cual se ubica el grupo carboxilo.

Los ácidos grasos encontrados en los seres vivos poseen cadenas hidrocarbonadas con un número par de carbonos, que oscila entre 16 y 36 carbonos, porque se sintetizan a partir de unidades de dos carbonos. Según presenten dobles enlaces en las cadenas, los ácidos grasos pueden ser **saturados** o **insaturados**. Cuando hay más de un doble enlace los ácidos se denominan **poliinsaturados**, para diferenciarlos de los **monoinsaturados**, los cuales poseen sólo un doble enlace.

La presencia de dobles enlaces da lugar a la existencia de isómeros cis-trans, sin embargo, en la naturaleza, los ácidos grasos insaturados generalmente son cis (figura 46). Dentro de los ácidos saturados, el ácido **palmítico** y el **esteárico** son los más abundantes, encontrándose en la mayoría de grasas animales y vegetales. El ácido **oleico** es el ácido insaturado más comúnmente encontrado en los seres vivos. Los ácidos **linoleico** y **linolénico** son compuestos poliinsaturados esenciales, es decir, deben ser consumidos en la dieta, pues la mayoría de los animales no los pueden sintetizar.



Ácidos grasos	Número de carbonos	Estructura	Punto de fusión (°C)	Fuente natural
Saturados				
Láurico	12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	44	Laurel
Mirístico	14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54	Nuez moscada
Palmítico	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	63	Todas las grasas vegetales y animales
Esteárico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	69	Todas las grasas vegetales y animales
Araquídico	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$	77	Maní
Lignocérico	24	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{22}\text{COOH}$	84	Aceite de cacahuate
Monoinsaturados				
Palmitoleico	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	1	Todas las grasas vegetales y animales
Oleico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	13	Todas las grasas vegetales y animales
Nervónico	24	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{13}\text{COOH}$	42	Cerebrósidos
Poliinsaturados				
Linoleico	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-5	Aceite de maíz
Linolénico	18	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$	-11	Aceite de linaza
Araquidónico	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	-49	Aceite de maní

Figura 45. Algunos ácidos grasos presentes en los seres vivos.

Las propiedades físicas de los ácidos grasos están relacionadas por la longitud de la cadena hidrocarbonada y por el grado de insaturación en la misma. En la tabla de la figura 45 se muestran los puntos de fusión de algunos ácidos grasos. Observa que los valores aumentan a medida que las cadenas crecen. Así mismo, nota que los insaturados presentan puntos de fusión mucho menores de los que poseen los saturados. Esto indica que estos últimos son sólidos a temperatura ambiente, mientras que los insaturados son líquidos o gases.

El efecto de la insaturación de las cadenas sobre los puntos de fusión se relaciona con la forma de las moléculas. Como se observa en la figura 3, la presencia de un doble enlace ocasiona una especie de doblez en la cadena, que antes era lineal. Esto hace que el empaquetamiento de las moléculas sea más difícil en el momento de agregarse en estado sólido.

Entre más insaturaciones posea una molécula, más irregular será su forma y por tanto, más tardará en formar una estructura sólida.

Los ácidos grasos se denominan principalmente usando sus nombres comunes. Los nombres oficiales se derivan del nombre del hidrocarburo con el mismo número de carbonos, adicionando el sufijo **-oico**, **-anoico** o **-enoico**, según el caso. Por ejemplo, el ácido oleico corresponde al ácido octadecenoico, pues la cadena posee 18 carbonos. La numeración de los carbonos se inicia en el carbono carboxilo (1). Recordemos igualmente que el carbono adyacente al carbono carboxilo, es decir, el número 2 se conoce también como carbono α . Los carbonos 3 y 4 con frecuencia se denominan β y γ , respectivamente.

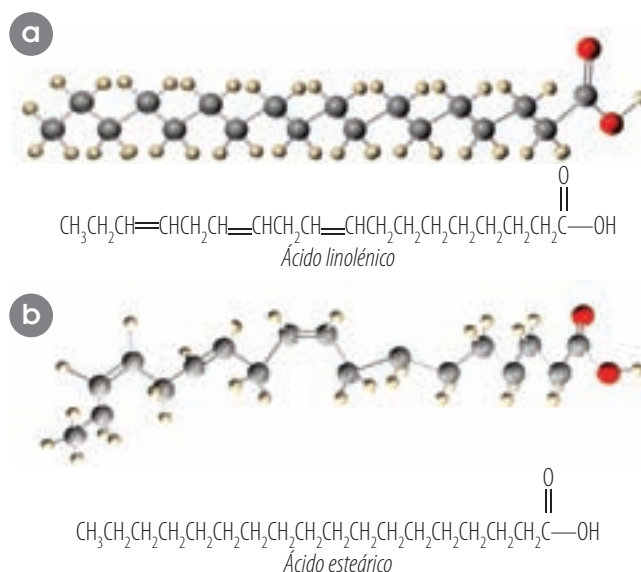


Figura 46. Ácidos grasos saturados (a) e insaturados (b). Las insaturaciones ocasionan dobleces en la cadena hidrocarbonada, lo cual afecta las propiedades físicas de los compuestos.



Figura 47. Las celdas que conforman las colmenas de las abejas están hechas de palmitato de melisilo, un éster derivado de un alcohol de cadena larga (melisilol) y un ácido graso (palmítico).

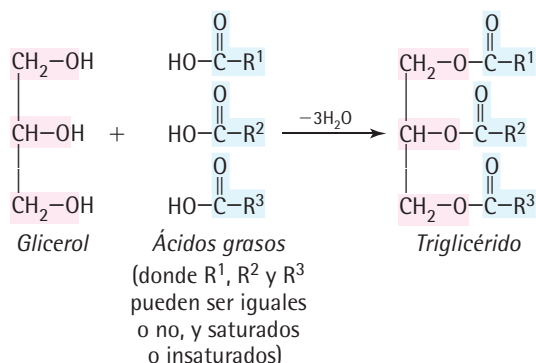


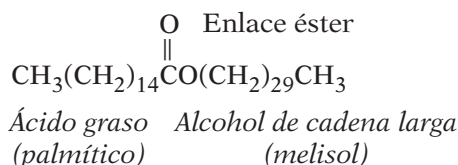
Figura 48. Los acilglicérols (grasas y aceites) son ésteres de glicerol y diferentes ácidos grasos.

3.2.2 Lípidos simples

Son ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes. Dependiendo del alcohol que forme el éster, y del número de ácidos grasos involucrados, los lípidos simples pueden ser:

Ceras

Las ceras son ésteres de ácidos grasos con alcoholes de cadena larga, generalmente entre 24 y 36 carbonos. Por ejemplo, la cera de abejas (Figura 47) está compuesta principalmente por palmitato de melisilo:



Nota que las secciones polares de ambas moléculas se conjugan en el enlace éster, por lo que la cera es apolar. Esto explica la insolubilidad en agua de estos compuestos.

Grasas y aceites

• Estructura

Las grasas y los aceites conforman un grupo de compuestos llamado **acilglicérols**, pues son ésteres del glicerol (o glicerina), un poliol, con tres grupos OH. Dependiendo del número de grupos OH que formen enlaces éster con cadenas de ácidos grasos, podemos tener, **mono**, **di** o **triacilglicérols**. Estos últimos son los más abundantes en la naturaleza y se denominan también **triglicéridos** (figura 48). Los grupos R de los ácidos grasos que conforman los acilglicérols pueden ser iguales o diferentes, así como saturados o insaturados (figura 49).

Fuente	Ácidos grasos saturados (%)				Ácidos grasos insaturados (%)		
	Láurico	Mirístico	Palmítico	Estearico	Oleico	Ricinoleico	Linoleico
Grasas animales							
Manteca	—	1	25	15	50	—	6
Mantequilla	2	10	25	10	25	—	5
Grasa humana	1	3	25	8	46	—	10
Esperma de ballena	—	8	12	3	35	—	10
Aceites vegetales							
Coco	50	18	8	2	6	—	1
Maíz	—	1	10	4	35	—	45
Oliva	—	1	5	5	80	—	7
Cacahuete	—	—	7	5	60	—	20
Linaza	—	—	5	3	20	—	20
Semillas de ricino	—	—	—	1	8	85	4

Figura 49. Composición (%) de diferentes ácidos grasos para algunas grasas y aceites. Observa que la mayoría de las fuentes son mezclas de más de tres ácidos grasos.



Las **grasas** derivadas de los ácidos palmítico y esteárico se denominan comúnmente palmitina y estearina, respectivamente. Los **aceites** son ésteres glicéricos del ácido oleico, no saturado y son llamados también oleínas.

• Propiedades físicas

Las grasas son por lo general de origen animal, como la mantequilla; mientras los aceites provienen de fuentes vegetales, como el aceite de maíz. En general los lípidos simples son sustancias de color blanco o amarillento, untuosos al tacto e insípidos; menos densos que el agua. Su densidad varía entre 0,88 y 0,96 g/cc. En cuanto al estado de agregación, a temperatura ambiente, los aceites son líquidos, mientras que las grasas son sólidos. Algunos presentan olor característico, como el aceite de linaza y de coco o la mantequilla.

• Propiedades químicas

- Descomposición térmica:** cuando se realiza un calentamiento excesivo de las grasas, los glicéridos se descomponen y la glicerina separada se transforma en propenal o acroleína, de olor repugnante (figura 50).
- Enranciamiento:** algunas grasas, al estar en contacto durante un cierto tiempo con el aire, a temperatura ambiente, adquieren un olor y sabor desagradables. Este fenómeno es resultado de dos procesos: la **hidrólisis bacteriana de los enlaces éster** y la **oxidación de los dobles enlaces** presentes en las cadenas de ácidos grasos.

La mantequilla, por ejemplo, contiene entre 1-4% de triglicéridos derivados de ácidos grasos de cadenas cortas (entre 4-6 carbonos), los cuales son fácilmente hidrolizados por las bacterias del ambiente y liberados como moléculas volátiles, responsables del mal olor característico de la mantequilla rancia. En otras grasas, compuestas por ácidos grasos de cadenas largas, ocurre oxidación y ruptura de los dobles enlaces, ocasionando la formación de grupos COOH en dichas insaturaciones. El resultado es, también, la liberación de ácidos grasos volátiles de menor peso.

El enranciamiento oxidativo se acelera por acción de la luz, del aire, de la humedad o del calor. Actualmente, para la prevención del enranciamiento en las grasas animales y vegetales empleadas en la elaboración de productos alimenticios se usan **antioxidantes**, que inhiben la oxidación de los ácidos grasos insaturados.

- Reacciones de adición:** son específicas de grasas que contienen insaturaciones, en las cuales se pueden adicionar diferentes grupos, como halógenos o hidrógeno. Los aceites, que gracias a la presencia de insaturaciones son líquidos, se convierten en grasas sólidas por adición de hidrógeno a los dobles enlaces de los ácidos grasos.
- Hidrólisis:** esta es la reacción característica de los lípidos simples. Los productos de la hidrólisis son el alcohol y el o los ácidos grasos involucrados en la formación del enlace éster. Así, los triglicéridos se hidrolizan produciendo glicerol y tres ácidos grasos.

La hidrólisis puede producirse por la acción de ácidos o bases fuertes, vapor sobrecalentado o enzimas especiales, denominadas **lipasas**. Cuando la hidrólisis es producida por una base fuerte, el proceso recibe el nombre de **saponificación**.



Figura 50. La hidrólisis de grasas con vapor sobrecalentado se usa industrialmente para obtener glicerol, materia prima para fabricar dinamita y varios medicamentos.

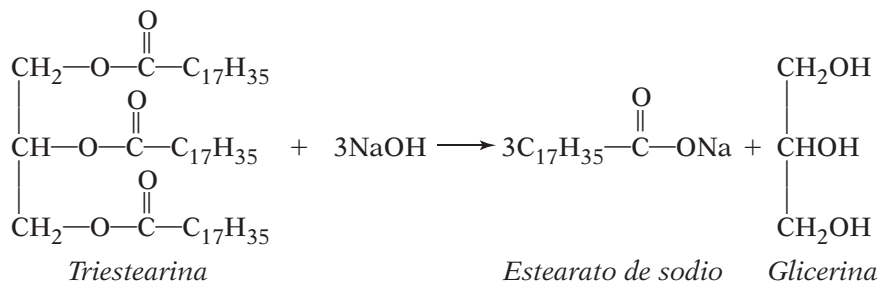
EJERCICIO

- ¿Por qué la mantequilla se conserva por más tiempo, sin ponerse rancia, cuando se guarda dentro de la nevera?
- ¿Por qué el empaque al vacío de los alimentos previene su enranciamiento?



e) **Saponificación**: cuando una grasa es tratada con una solución alcalina fuerte, por ejemplo de KOH o NaOH se produce su hidrólisis, dando como productos glicerol y las sales alcalinas de los ácidos grasos.

Por ejemplo, la hidrólisis de triestearina con NaOH, produce estearato de sodio y glicerina:



Estas sales constituyen los jabones. Específicamente, las sales sódicas de los ácidos grasos se conocen como **jabones duros**, mientras que las sales potásicas son **jabones blandos**. Las barras de jabón corriente, de uso doméstico son jabones sódicos.

EJERCICIO

1. ¿Qué es un agente tensioactivo?
2. ¿Por qué los jabones pierden su capacidad limpiadora a pH ácidos?

Jabones y detergentes

Como materia prima para la fabricación de jabones se pueden emplear sebos, grasas, aceites de oliva, aceites de maní, de sésamo etc. El jabón como tal se aísla de la solución hidrolizada —que es una mezcla de glicerol, iones alcalinos y sales de los ácidos grasos— adicionando NaCl o KCl, lo cual ocasiona la precipitación de las sales de carboxilato puras. El jabón bruto así obtenido es secado en forma de barra. Frecuentemente, se adiciona a la sal de carboxilato otras sustancias, con fines específicos, como perfumes, colorantes, antisépticos, etc.

La acción limpiadora de los jabones se basa en que estas moléculas son **anfipáticas**, es decir, poseen un extremo polar e hidrofílico, correspondiente al ion alcalino que forma la sal carboxilato. El extremo opuesto es apolar e hidrofóbico y corresponde a la cadena hidrocarbonada del ácido graso. Esta condición hace que, cuando las moléculas de jabón se encuentran en solución acuosa, forman agregados semiesféricos en los cuales las colas hidrofóbicas se ubican en el interior, lejos del agua circundante, mientras

las cabezas hidrofílicas se localizan en la superficie de los agregados o **micelas**. Estas micelas pueden envolver gránulos apolares de suciedad (frecuentemente grasa) y permitir así que sean lavados por enjuague (figura 51).

Los detergentes son mezclas de las sales sódicas de ésteres derivados de ácido benzo-sulfónicos y alcoholes laurílico y cetílico. Actúan como agentes **tensioactivos** y han sustituido con algunas ventajas a los jabones corrientes. Por ejemplo los jabones no pueden ser usados en medio ácido, ni en aguas demasiado duras (cargadas con sales de calcio y magnesio) porque forman jabones insolubles que no dan espumas hasta que todo el calcio y el magnesio se hayan precipitado.

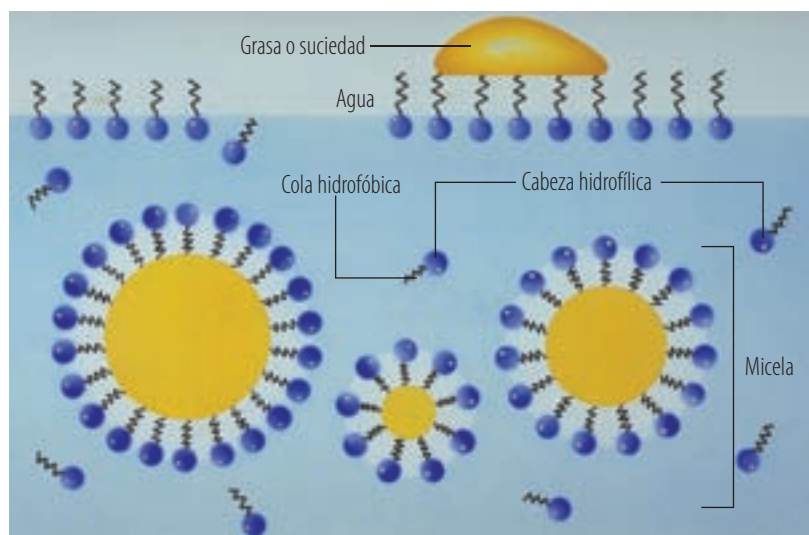


Figura 51. La acción limpiadora de los jabones se debe a que están compuestos por moléculas anfipáticas, capaces de solubilizar los gránulos de suciedad, al envolver las partículas de grasa en micelas.



Los detergentes se pueden dividir en tres grupos: los aniónicos, los catiónicos y los no iónicos, según la parte de la molécula que posea la parte detergente.

En general hay que tener en cuenta tres características que son determinantes de las aplicaciones de los detergentes: el **poder humectante**, el **poder detergente** y el **poder espumante**. Estas características se miden teniendo en cuenta la capacidad que tengan para disminuir la tensión superficial del agua en un sistema aire-líquido o la tensión interfacial en un sistema líquido-líquido.

Funciones de los lípidos simples en los seres vivos

La principal función de las ceras es servir como capas protectoras e impermeabilizantes. Así, las plumas, la piel, las hojas y muchos frutos poseen cubiertas cerosas que impiden la entrada y salida de agua, y protegen contra parásitos y daños mecánicos (figura 52). Los acilglicérols y específicamente los triglicéridos tienen tres funciones principales en los seres vivos:

- **Almacenamiento de carbono y energía:** en el tejido adiposo de los animales se acumulan grandes cantidades de ácidos grasos para ser usados como fuente de energía en casos de necesidad. A diferencia de los azúcares, las grasas proporcionan mayor cantidad de energía, por lo que constituyen la principal fuente de energía cuando se realiza ejercicio extenuante.
- **Protección contra daños mecánicos y bajas temperaturas:** las capas de tejido adiposo constituyen además una eficaz protección contra golpes o contra descensos fuertes en la temperatura (figura 53).



Figura 52. Las plumas de las aves poseen un recubrimiento cérico que funciona como impermeabilizante, impidiendo que entre y salga agua del cuerpo sin control.

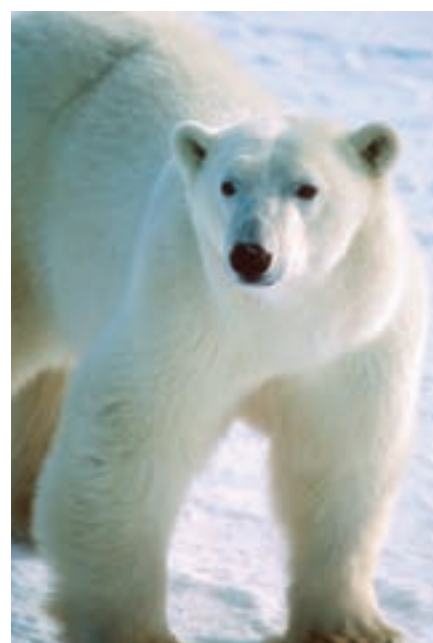


Figura 53. Los animales que viven en climas fríos poseen una gruesa capa de tejido adiposo, que funciona como aislante térmico y en menor medida también como protección mecánica.

3.2.3 Lípidos compuestos

Corresponden a ésteres de ácidos grasos que contienen otros grupos químicos además del alcohol y el ácido. Dependiendo del grupo adicional presente, se dividen en: **fosfolípidos** y **glicolípidos**.

Fosfolípidos

Contienen además de ácidos grasos y un alcohol, un residuo de ácido fosfórico (H_3PO_4) y un aminoalcohol, como **colina** ($OH-CH_2CH_2-N(CH_3)_3$) o **serina** ($OH-CH_2-CH(NH_2)-COOH$). Se conocen dos tipos de fosfolípidos: **fosfoglicéridos** y **esfingolípidos**, los cuales se diferencian por el tipo de alcohol que poseen (figura 54). Los glicolípidos son similares a los esfingolípidos, pero en lugar del grupo fosfato poseen un azúcar.

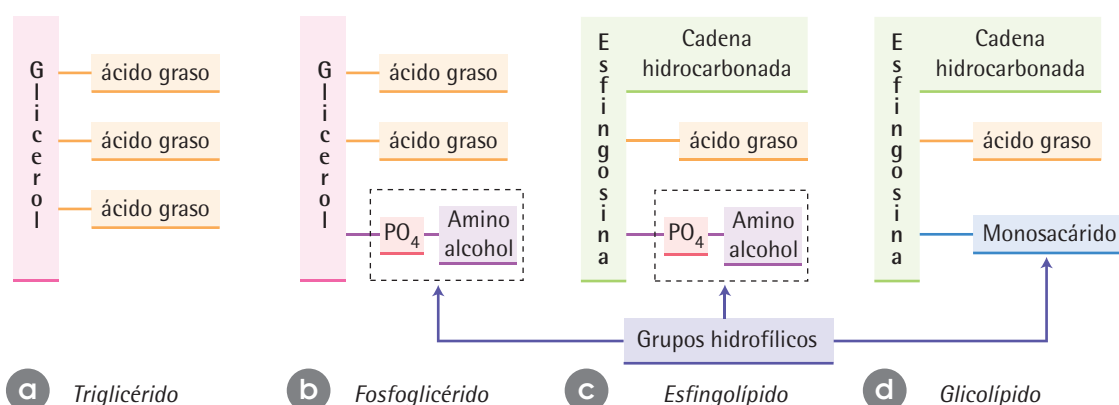


Figura 54. Representación esquemática de la estructura de un triglicérido (a), un fosfoglicérido (b), un esfingolípidos (c) y un glicolípidos (d).

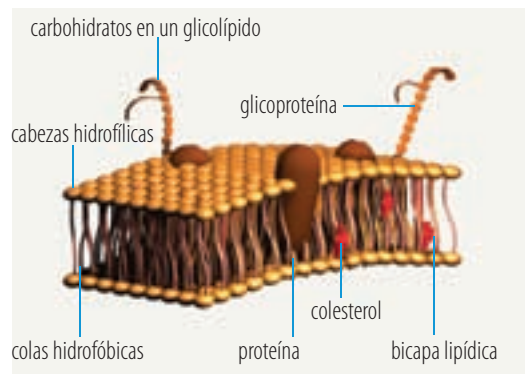


Figura 55. Estructura de una membrana celular. Además de fosfoglicéridos, las membranas contienen: colesterol, glicolípidos, glicoproteínas, carbohidratos y proteínas.

• Fosfoglicéridos

Son comunes en los tejidos vegetales y animales, pues constituyen las membranas celulares (figura 55), siendo los más importantes las **lecitinas** y las **cefalinas**. Al igual que los jabones, poseen una larga cola hidrocarbonada no polar unida a una cabeza polar iónica (proveniente del grupo fosfato y el aminoalcohol).

Las **lecitinas** existen en la yema de huevo y en los tejidos nervioso y cerebral. Desde el punto de vista fisiológico son importantes para el transporte de las grasas de un tejido a otro y porque son el componente esencial del protoplasma de todas las células del cuerpo.

Las **cefalinas** se encuentran en el tejido cerebral y son esencialmente mezclas de **fosfatidiletanolamina** y **fosfatidilserina**. Estos compuestos, están involucrados en los procesos de coagulación de la sangre y son por lo tanto constituyentes esenciales del cuerpo.

• Esfingolípidos

Al igual que los fosfolípidos, son constituyentes importantes de las membranas celulares de plantas y animales. Se encuentran en forma abundante en los tejidos cerebrales y nerviosos, donde las **esfingomielinas** son un constituyente importante del recubrimiento de las fibras nerviosas.

Glicolípidos

Están distribuidos ampliamente en todos los tejidos del cuerpo, especialmente en el tejido nervioso (cerebro), de ahí que también se les conozca como **cerebrosidos**. Se encuentran en la capa externa de la membrana plasmática donde forman parte de los carbohidratos de la superficie celular.

Los glicolípidos más sencillos son la **galactosilceramida** y **glucosilceramida**. El primero es un glucoesfingolípidos muy importante que se encuentra en el cerebro y otros tejidos nerviosos. La glucosilceramida es el glucoesfingolípidos predominante en los tejidos extraneurales, pero también se encuentra en el cerebro en pequeñas cantidades.

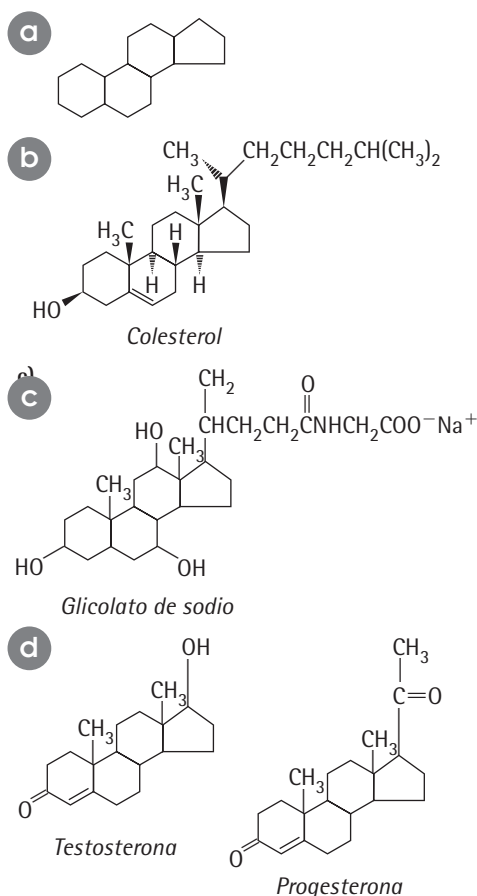


Figura 56. a) Núcleo de esteroides, b) colesterol, c) sales biliares (glicolato de sodio) y d) hormonas sexuales (testosterona y progesterona).

3.3 Lípidos no hidrolizables

A diferencia de los lípidos hidrolizables, este tipo de lípidos no experimenta hidrólisis cuando se trata con ácidos o bases fuertes. Esto se debe a que no contienen grupos éster.

Este grupo incluye compuestos con estructuras diversas. Veamos.

3.3.1 Esteroides

Los esteroides son derivados de alcoholes cíclicos de peso molecular elevado. Se encuentran en todas las células vivas y son derivados del **ciclopentanoperhidrofenantreno**, llamado también **núcleo de esteroide** (figura 56a).

El colesterol (figura 56b) es el esteroide más importante en la bioquímica de los animales. A partir de esta molécula se sintetizan otros compuestos vitales, como las **sales biliares** (figura 56c) y las **hormonas esteroideas** (figura 56d) y algunas **lipoproteínas**.



El colesterol hace parte de las membranas celulares, en las cuales se encuentra inserto entre las colas hidrofóbicas de los fosfoglicéridos, impidiendo que estos se alineen en agregados sólidos. La solidificación de las membranas acarrea la muerte de las células, por lo que la función del colesterol en este sentido es de gran importancia.

Algunas lipoproteínas se componen de colesterol. La principal función de estas macromoléculas es el transporte de grasas a través del torrente sanguíneo. Las alteraciones en el metabolismo del colesterol y de las lipoproteínas correspondientes están relacionadas con enfermedades cardiovasculares, como la **arteroesclerosis**, que es la obstrucción paulatina de las arterias por agregados de colesterol o **ateromas**.

Las **sales biliares** son agentes emulsificantes naturales, presentes en la bilis. La bilis es un fluido digestivo producido por el hígado y almacenado en la vesícula biliar. Es liberado en las vías digestivas con el fin de ayudar en la digestión y absorción de lípidos. Las sales biliares provienen de los ácidos **cólico**, **litocólico** o **desoxicólico**, que se combinan con la **glicina** mediante un enlace amida.

3.3.2 Icosanoides

Son derivados de ácidos grasos poliinsaturados de veinte carbonos, como el ácido araquidónico. Hay tres tipos de icosanoides: **prostaglandinas**, **leucotrienos** y **tromboxanos**, dependiendo de los sustituyentes que presente el esqueleto inicial (figura 57).

Los icosanoides son hormonas de acción local, es decir, no son transportadas en el plasma sanguíneo a tejidos alejados de donde son sintetizadas, sino que actúan allí mismo. Participan en respuestas inflamatorias locales, inducción de fiebre cuando hay infecciones, regulación de la presión sanguínea y reacciones alérgicas, entre otros procesos.

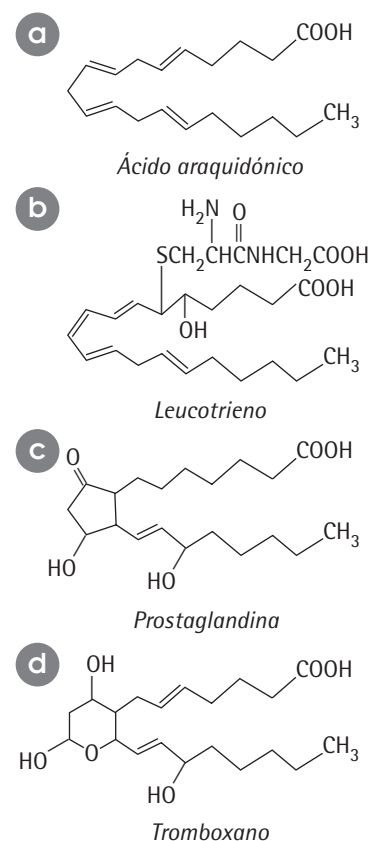


Figura 57. Icosanoides: a) ácido araquidónico, b) leucotrienos, c) prostaglandinas y d) tromboxanos.

3.3.3 Terpenoides

Son polímeros del **isopropeno**, 2-metil-1,3-butadieno (C_5H_8) y sus derivados oxigenados:

Los terpenoides son comunes en muchos tejidos vegetales y componen la mayoría de los aceites esenciales, como el geraniol, el citral, el mentol y el alcanfor (figura 15). Pueden ser lineales o cíclicos. Algunas vitaminas, como la E y la K son terpenoides.

Por último, los **carotenoides**, constituyen un grupo importante de terpenoides de coloración roja, amarilla o naranja, debido a la presencia de múltiples enlaces dobles (figura 58). Por ejemplo, el β -caroteno, presente en gran cantidad en la zanahoria es un pigmento fotosensible, que actúa como precursor de la vitamina A o retinol, la cual está relacionada con la visión.

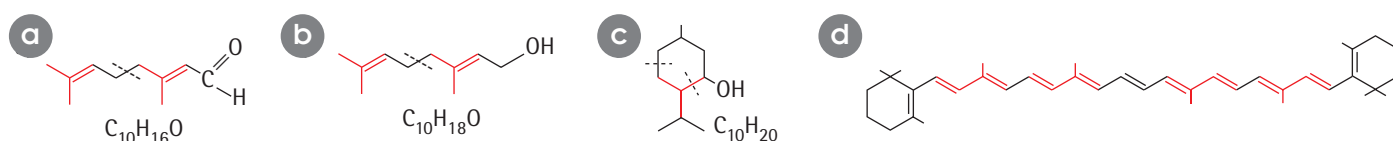


Figura 58. Muchos aceites esenciales y pigmentos son terpenoides.

a) citral, en los cítricos, b) geraniol, en los geranios, c) mentol y d) β -caroteno, en la zanahoria.



Figura 59. La soja, el ajonjolí, el maní y las aceitunas, entre otros frutos y semillas, son fuentes importantes de aceites en la dieta.



Figura 60. Los aceites de hígado de peces como el bacalao son ricos en vitamina A y D. Ver actividades tema 3, páginas 190 y 191.

3.4 Metabolismo de lípidos

Las grasas que forman parte de los alimentos cumplen dos funciones principales: son una fuente de energía y sirven como sustrato para la formación y mantenimiento de importantes constituyentes de nuestro organismo, como las membrana citoplasmáticas, los recubrimientos lipídicos de las neuronas o las hormonas sexuales.

Las principales fuentes de grasas (especialmente triglicéridos) en la dieta son la mantequilla y las margarinas, las carnes y los aceites, tanto vegetales como animales (figuras 59 y 60). El colesterol se encuentra sólo en alimentos de origen animal, como la carne roja, la mantequilla, el queso y los huevos.

En un adulto normal, la digestión de las grasas en la boca y en el estómago es muy pequeña o nula. Solamente cuando las grasas pasan al duodeno se segrega la hormona del tracto gastrointestinal, **colescistoquina**, que es transportada por la sangre hasta la vesícula biliar, donde estimula a dicho órgano para que segregue su bilis al intestino delgado. Los ácidos y las sales biliares son buenos detergentes y emulsionan las grasas favoreciendo su digestión, especialmente por la acción de la **lipasa pancreática**. La lipasa pancreática es activada por las sales biliares e hidroliza las grasas en ácidos grasos, glicerina, jabones mono y diglicéridos.

Durante el proceso de absorción los productos finales de la digestión de las grasas pasan a través de la mucosa intestinal, y se convierten de nuevo en triglicéridos y entran a la circulación linfática. Las sales biliares son esenciales durante la absorción de los lípidos por su efecto sobre la solubilidad de los ácidos grasos y porque intervienen directamente en el proceso. A través de las reacciones de oxidación, las biomoléculas obtenidas de las grasas, carbohidratos y proteínas se convierten en dióxido de carbono y agua, transformando la energía potencial de sus enlaces químicos en energía útil para las células.

3.5 Valor energético de los alimentos

Los seres humanos obtenemos energía a través de una combinación de alimentos de origen vegetal y animal. Esta energía es utilizada en múltiples procesos. Por ejemplo, en la transmisión de mensajes desde el cerebro a los músculos para desarrollar la actividad muscular, en regularización de la temperatura basal y en la circulación sanguínea.

El valor energético de los alimentos se mide en calorías (o kilocalorías). Recordemos que una caloría (cal) equivale a 4,180 julios.

Para desarrollar las actividades normales diariamente un hombre joven necesita aproximadamente 2.900 kcal/día y una mujer unas 2.490 kcal/día. Estos valores están sujetos a modificaciones dependiendo de las actividades particulares que realice la persona.

En general, en los países desarrollados, las grasas satisfacen el 40% de las necesidades energéticas de la población, los carbohidratos aportan el 48% y las proteínas el restante 12%; sin embargo esto también varía y depende mucho del país y de sus fuentes de alimentación (figura 61).

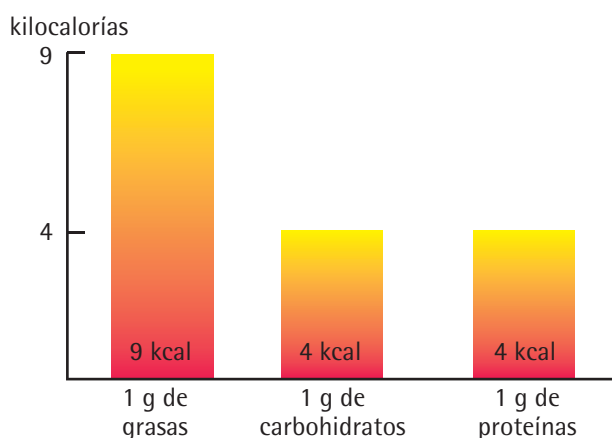


Figura 61. Los lípidos proporcionan más del doble de la energía aportada por la oxidación de carbohidratos. Sin embargo, órganos como el cerebro sólo pueden funcionar con glucosa.



Interpreta

- 1 Completa el siguiente cuadro, estableciendo diferencias entre ácidos grasos saturados e insaturados:

Propiedad	Ácido graso saturado	Ácido graso insaturado
Solubilidad en agua		
Punto de fusión		
Punto de ebullición		
Isomería		
Estado físico		

- 2 La grasa humana, la manteca, la mantequilla, el aceite de coco y la linaza, en su composición presentan diversos ácidos grasos saturados e insaturados. Elabora un cuadro y determina qué ácidos grasos saturados e insaturados posee cada uno.
- 3 Las ceras son ésteres de ácidos grasos con alcoholes de larga cadena. Determina cómo están conformadas las siguientes:
- a) Cera de abejas c) Cera carnauba
b) Cera de china
- 4 Los jabones se consideran como sales alcalinas de ácidos grasos.
- a) Representa la reacción entre estearina y el KOH. ¿Qué tipo de jabón se obtiene, duro o blando?
b) Describe en pocas palabras cómo ocurre la acción limpiadora de un jabón.



Argumenta

- 5 Explica la siguiente afirmación: “Los lípidos son compuestos orgánicos con estructuras químicas diversas, pero tienen en común un solo rasgo: son insolubles en agua y muy solubles en compuestos no polares”.
- 6 Los ácidos grasos poliinsaturados son esenciales en la dieta alimenticia puesto que resultan importantes para el desarrollo de los sistemas inmunológico y nervioso del feto y además son precursores de derivados de los lípidos como las prostaglandinas, los tromboxanos, los leucotrienos y las pentaciclinas. Además se ha comprobado que el consumo de alimentos que contienen estos ácidos retarda la aparición de enfermedades coronarias. Explica:

- a) ¿Qué significa que sean poliinsaturados?
b) ¿Qué tipo de alimentos contienen estos ácidos grasos?
c) ¿Qué le sucede a la molécula de estos ácidos grasos poliinsaturados, cuando se enrancian?

- 7 Para limpiar la superficie de pisos, paredes, ventanas, baños y estufas es necesario emplear sustancias apropiadas para disolver la suciedad. Averigua sobre los componentes que tienen los productos comerciales que se ofrecen para tal fin. Responde:

- a) ¿Qué compuestos químicos pueden emplearse para eliminar la suciedad?
b) ¿Qué propiedades presentan estas sustancias que las hacen solubles en agua? Justifica tu respuesta.



Propone

- 8 Un tipo de arteriosclerosis, endurecimiento de las arterias, se debe al consumo de grasas saturadas junto con el colesterol, con el tiempo los depósitos llamados placas se calcifican, se endurecen, quitando a los vasos su elasticidad. Explica:

- a) ¿Qué tipo de dieta alimenticia sugieres para evitar esta enfermedad?
b) ¿Qué es el colesterol?
c) ¿Por qué razón el consumo de pescado disminuye el riesgo de contraer esta enfermedad a pesar de que es una dieta rica en colesterol y grasas totales?

- 9 El colesterol de baja densidad se adhiere a las paredes interiores de las arterias y del sistema circulatorio, estrechando los canales por donde fluye la sangre, lo que produce la elevación de la presión arterial, sobrecarga de trabajo del corazón y otros trastornos circulatorios graves. El nivel de colesterol puede controlarse con una dieta adecuada que mantenga un peso normal.

- a) Elabora una dieta adecuada que permita mantener en sus valores normales el nivel de colesterol.
b) Haz una lista de recomendaciones que se deben tener en cuenta para mantener el nivel de colesterol.
c) Explica qué le puede suceder a una persona que elimina de su dieta alimenticia todas las grasas.



Actividades



Verifica conceptos

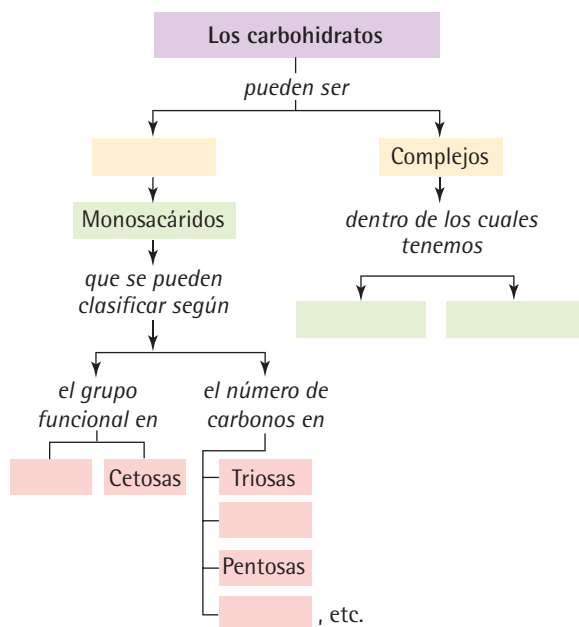
1 Escribe V, si el enunciado es verdadero y F, si es falso. Justifica los enunciados falsos.

- ☐ Los carbohidratos son compuestos orgánicos de origen animal principalmente.
- ☐ El exceso de carbohidratos se transforma en grasas bajo la forma de triglicéridos, lo cual puede causar obesidad.
- ☐ Los polímeros de alto peso molecular y que resultan de la condensación de muchos monosacáridos, se denominan polisacáridos.
- ☐ Los carbohidratos son nutrientes utilizados por la célula para la regulación de procesos metabólicos y como fuente de energía respectivamente.
- ☐ El glucógeno constituye el almacén estructural de las células vegetales.

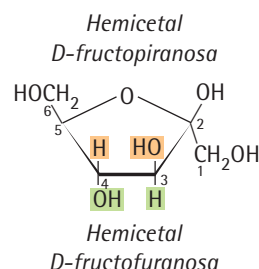
2 Por medio de la fotosíntesis las plantas construyen la mayoría de los carbohidratos que luego son utilizados por otros organismos.

- Explica mediante reacciones químicas dicho proceso.
- Con un dibujo representa el flujo de los carbohidratos en los seres vivos.

3 Completa los espacios en blanco del siguiente mapa conceptual:



4 Determina en la estructura de la D-fructofuranosa:



- ¿Cuántos centros quirales tiene?
- ¿Cuántos pares de 2-cetoxas enantiómeras deben existir?
- ¿Cuál es el grupo que le da el carácter D? Señálalo con un círculo.

5 Explica, utilizando un dibujo en qué consiste la actividad óptica.



Analiza y resuelve

6 Las plantas transforman la energía del Sol en energía química, que se almacena en los enlaces de carbono de sustancias complejas, especialmente de los carbohidratos que se forman a partir del dióxido de carbono atmosférico.

- Investiga en qué consiste la etapa biosintética u oscura en la que tiene lugar la síntesis de carbohidratos.
- Explica qué carbohidratos se producen en las plantas.
- Responde: ¿Es posible que los seres humanos metabolicemos carbohidratos como la celulosa?

7 Los enantiómeros poseen diferentes comportamientos bioquímicos, aunque presenten las mismas propiedades físicas. Por ejemplo, el D-limoneno es una sustancia con olor a naranja mientras que el L-limoneno huele a limón.

- Explica por qué razón los enantiómeros bioquímicamente se comportan de formas diferentes.
- Busca otros ejemplos similares al limoneno.



- 8 Una mezcla de los dos enantiómeros de un compuesto, en proporciones 50:50 se denomina mezcla racémica. Analiza la información de los diferentes estereoisómeros del ácido tartárico, en la siguiente tabla:

Estereoisómero	Punto de fusión °C	$[\alpha]_D$ (°)	Densidad g/cm ³	Solubilidad (a 20 °C en g/100 mL de agua)
(+)	168-170	+12	1,75948	139
(-)	168-170	-12	1,7598	139
(±)	206	0	1,788	20,6

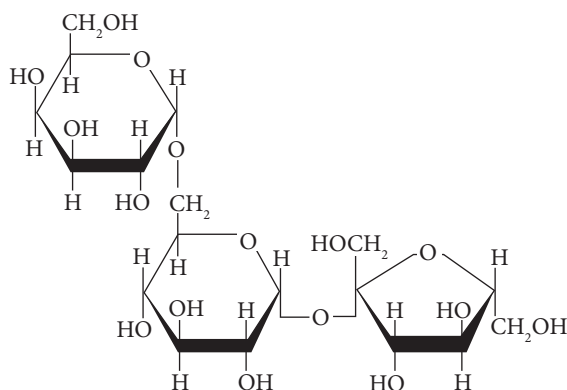
Explica:

- ¿Qué ocurre con los puntos de fusión de los diferentes enantiómeros?
- ¿Qué ocurre con la densidad?
- ¿Qué ocurre con la solubilidad?
- ¿Qué puedes concluir sobre las propiedades físicas de dichos enantiómeros?

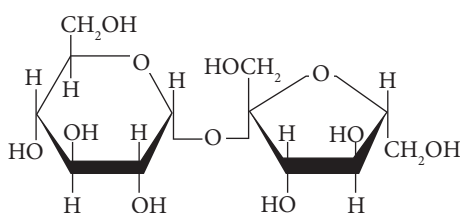


Problemas básicos

- 9 Las siguientes son las fórmulas de la rafinosa, trisacárido natural de las plantas y la sacarosa, disacárido que se encuentra fundamentalmente en el azúcar de caña.



Rafinosa



Sacarosa

- Indica y nombra los monosacáridos que las conforman.
- Señala dónde se encuentran los enlaces glucosídicos.
- Determina en qué plantas se encuentra la rafinosa. ¿Es posible que los seres humanos podamos metabolizarla?

- 10 La ribosa es una aldopentosa de fórmula molecular $C_5H_{10}O_5$. Dibuja sus correspondientes isómeros ópticos.

- 11 Completa las siguientes reacciones, asignando las fórmulas y los productos correspondientes:

- glucosa + cloruro de etanoilo $\longrightarrow$
- fructosa + bromoetano $\longrightarrow$
- glucosa + galactosa $\longrightarrow$
- glucosa + fructuosa $\longrightarrow$



Problemas de profundización

- 12 Una sustancia muy difundida en la naturaleza, la quitina, y un derivado de ella, la quitosana, componentes del esqueleto externo de muchos animales inferiores como los crustáceos y sostén de muchos hongos: son los polisacáridos más abundantes después de la celulosa, conformados por N-acetil D-glucosamina con enlaces 3 (1—4). Tienen la gran ventaja de ser biodegradables y, por lo tanto, no contaminantes. Responde:

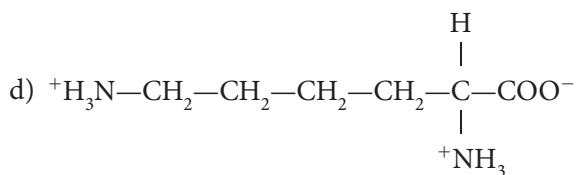
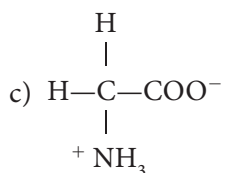
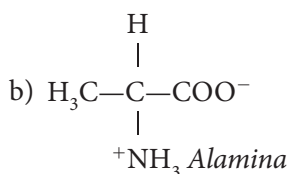
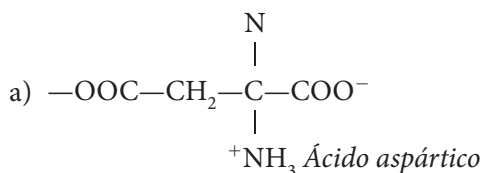
- ¿Qué otras propiedades presentan estas sustancias que las hacen fibras dietéticas con contenido calórico cero?
- En la actualidad, en Japón, ¿para qué se están utilizando estos compuestos?
- ¿Qué es un polímero? ¿Qué relación tienen estos compuestos con los polímeros?

- 13 Las diferentes clases de endulzantes o edulcorantes naturales, como el azúcar integral, el sirope de manzana, agave y arce, la melaza, la miel y la stevia, son cada vez más solicitados por los consumidores. Explica:

- ¿Qué ventajas tiene para el organismo el consumo de estos edulcorantes?
- ¿Qué desventajas tienen para el organismo?
- ¿Se conocen y están comprobadas sus propiedades medicinales?

Actividades

- 1 Los aminoácidos pueden tener carácter ácido, básico o neutro, de acuerdo con el valor del pH que poseen. En los ácidos, R presenta un grupo —COOH adicional y se encuentran disociados como iones carboxilato; los básicos poseen un grupo R capaz de protonarse como el grupo amino, y en los neutros, los grupos —NH_2 y —COOH disociados, se equilibran. Clasifica los siguientes aminoácidos en ácidos, básicos y neutros, según la anterior definición:



- 2 Escribe V, si el enunciado es verdadero o F, si es falso. Justifica los enunciados falsos.

- ☐ Los aminoácidos son considerados los monómeros de las proteínas.
- ☐ Los aminoácidos poseen en su estructura grupos —NH_2 y —OH .
- ☐ Una propiedad que caracteriza a los aminoácidos es su gran solubilidad en disolventes orgánicos.
- ☐ La hemoglobina es considerada como una proteína de elevado peso molecular.

- ☐ Las enzimas son aminoácidos producidos por los organismos, para catalizar los procesos metabólicos.
- ☐ Un cofactor es una sustancia que ayuda a una enzima para que pueda desarrollar su función.
- ☐ El colágeno es una proteína fibrosa que forma parte de los tendones y cartílagos.
- ☐ El punto isoeléctrico determina el valor del pH de un aminoácido neutro.

- 3 La unión entre aminoácidos ocurre a través de la reacción entre el OH del grupo carboxilo de uno de los aminoácidos y el grupo amino de otro, con pérdida de una molécula de agua.

- a) Representa la unión entre alanina, serina y glicina.
- b) Indica qué nombre recibe el enlace formado.
- c) Explica qué clase de péptido se ha formado.

- 4 Explica por qué algunos aminoácidos son solubles en agua y otros no.



Analiza y resuelve

- 5 Cuando la leche se corta su aspecto cambia; se forma un coágulo blanco, queda libre un líquido transparente y el sabor es un poco ácido. Explica este fenómeno teniendo en cuenta las propiedades de las proteínas.

- 6 La queratina que conforma la estructura del pelo, es una proteína fibrosa unida por enlaces disulfuro (provenientes de la cisteína) y puentes de hidrógeno. Su contenido de histidina, metionina y triptófano es bajo. Responde:

- a) ¿Qué clase de estructura posee la queratina?
- b) ¿Por qué el pelo mojado tiene una forma rígida?
- c) ¿Qué diferencia a una persona de pelo liso y a una de pelo rizado?
- d) ¿Qué le sucede a la queratina cuando se realiza un ondulado en el cabello?

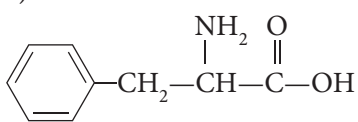


- 7 La hemoglobina es una proteína globular esférica, que cumple con varias funciones en el organismo al igual que otras proteínas. Completa el siguiente cuadro teniendo en cuenta la función determinada.

Función	Ejemplo
Estructural. De soporte y protección externa	
Defensa. Anticuerpos que defienden al organismo	
Transporte. De sustancias de un lugar a otro	
Enzimática. Catalizadores biológicos para que ocurran reacciones	



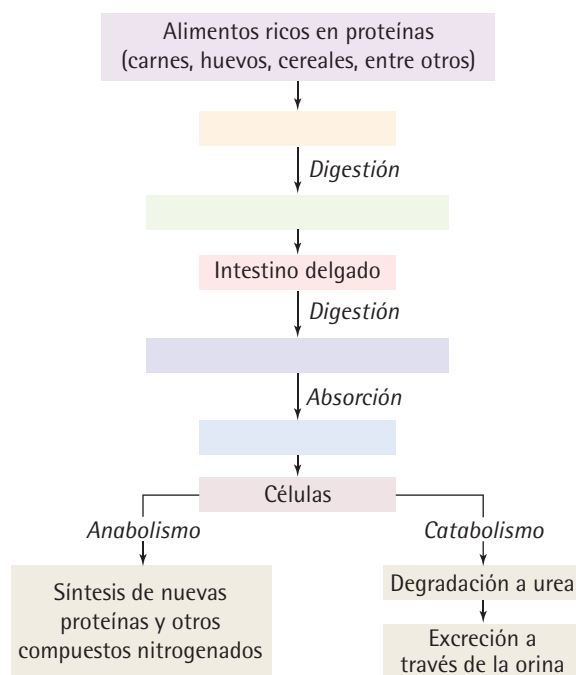
Problemas básicos

- 8 Escribe las ecuaciones correspondientes para obtener los siguientes aminoácidos:
- Valina
 - Alfa-fenilalanina
 - Serina
 - Tirosina
- 9 Responde: ¿Qué significa que los aminoácidos tengan carácter anfótero?
- 10 Completa las reacciones que resultan de las combinaciones: a - d, b - c y e - a.
- Ala = alanina
 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$
 - Asp = ácido aspártico
 $\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$
 - Phe = fenilalanina

 - Leu = leucina
 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$
 - Val = valina
 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$
- 11 Responde: ¿Qué nombre reciben los compuestos formados en el punto 3?



Problemas de profundización

- 12 El monóxido de carbono produce envenenamiento, porque forma un complejo con la hemoglobina de la sangre más estable que el que se puede formar con el oxígeno. Por ejemplo, cuando permanecemos largo tiempo cerca de un asador con carbón podemos experimentar dolor de cabeza, sueño e irritación en las mucosas. ¿Cómo podríamos reestablecer el equilibrio en este caso?
- 13 Las hormonas peptídicas son derivados de aminoácidos (como las hormonas tiroideas), o bien oligopéptidos (como la vasopresina) o polipéptidos (como la hormona del crecimiento). En general, este tipo de hormonas no pueden atravesar la membrana plasmática de la célula diana, por lo cual los receptores para estas hormonas se hallan en la superficie celular.
- Determina los aminoácidos que conforman la vasopresina, la tiroidea y la hormona del crecimiento.
 - Explica a qué se denomina una célula diana.
- 14 Los alimentos que consumimos a diario, que son ricos en proteínas, requieren un proceso metabólico para que sean aprovechados por el organismo. Completa el siguiente mapa conceptual que ilustra dicho metabolismo.



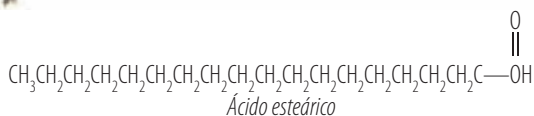
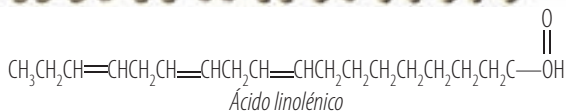
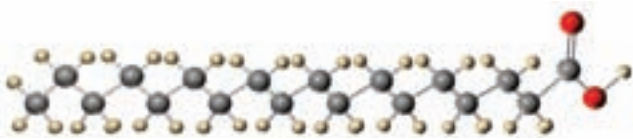


Actividades



Verifica conceptos

- 1 Los ácidos grasos pueden ser saturados e insaturados. Responde acerca de ellos:



- ¿Cómo afectan las propiedades físicas de los ácidos grasos las insaturaciones presentes en una molécula?
- ¿Qué diferencias existen en las fórmulas estructurales de los ácidos grasos saturados e insaturados?
- ¿Es posible encontrar ácidos grasos en estado sólido y en estado líquido a temperatura ambiente?

- 2 Algunos ácidos están presentes en los seres vivos como:

Ácidos grasos	Número de carbonos	Punto de fusión °C
Laúrico (en el laurel)	12	44
Mirístico (nuez moscada)	14	54
Araquídico (maní)	20	77
Nervónico (cerebrósidos)	24	42
Linoleico (maíz)	18	211
Esteárico (vegetales y animales)	18	69
Palmitoleico (vegetales y animales)	16	1

- Elabora una gráfica en la cual se evidencie la relación entre el número de átomos carbono (eje X) y el punto de fusión de los ácidos grasos (eje Y).
- Calcula el peso molecular de estas sustancias y establece relaciones entre el número de carbonos y el peso molecular de los ácidos orgánicos.
- Explica cuáles ácidos son insaturados y cuáles son saturados.

- 3 La acción limpiadora de los jabones se basa en que las moléculas que los conforman son anfipáticas. Explica:

- ¿Qué significa este término? Mediante un dibujo, representa la forma en que actúan estas moléculas.
- ¿Qué diferencias existen entre un jabón y un detergente?



Analiza y resuelve

- 4 Para la fabricación de jabones se emplean sebos, grasas o aceites como materia prima. El jabón, como tal, se aísla de la solución hidrolizada (mezcla de glicerol, iones alcalinos y sales de los ácidos grasos) por medio de la adición de determinadas sales. Responde:

- ¿Cuáles sales inorgánicas se deben adicionar para lograr la precipitación de las sales de carboxilato puras?
- ¿Qué diferencias existen entre los sebos, las grasas y los aceites?
- ¿Qué es el jabón bruto?
- ¿Qué tipos de colorantes y perfumes se utilizan en la elaboración de un jabón?

- 5 En la elaboración de los detergentes se debe tener en cuenta tres características que son determinantes en sus aplicaciones: el poder humectante, el poder detergente y el poder espumante. Explica:

- ¿Cómo se miden estas características?
- ¿Qué significa cada una de estas características?



Problemas básicos

- 6 En el laboratorio, se desea preparar 500 g de jabón. ¿Qué peso de ácido oleico se necesita? ¿Qué cantidad de hidróxido de sodio se requiere?
- 7 Algunos cosméticos procedentes de aceites vegetales tienen propiedades emolientes, suavizantes y estimuladores en la producción del colágeno y la elastina. Consulta en qué consiste cada una de estas propiedades y menciona otros productos que las presentan.
- 8 Los lípidos son moléculas orgánicas de importancia biológica. Las grasas y los aceites son lípidos. ¿Químicamente qué diferencia a un aceite de una grasa? Justifica tu respuesta con ejemplos.
- 9 Los aceites empleados tanto en la preparación de alimentos como en diversos productos de aseo personal se diferencian significativamente de los aceites empleados en algunos procesos industriales. Explica:



- a) ¿Cuál es la principal fuente de obtención de cada uno de estos aceites?
- b) ¿Por qué un aceite de cocina no puede emplearse en la industria de los combustibles o un aceite combustible, en la cocina?
- c) ¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas que diferencian a este tipo de productos?
- d) ¿Cuál de estos aceites es más contaminante? Justifica tu respuesta.
- 10 Entre los lípidos y los carbohidratos, ¿cuál aporta más calorías al organismo?



Problemas de profundización

- 11 En la actualidad, se asocian constantemente algunas enfermedades cardíacas con los lípidos.

Una dieta rica en grasas animales saturadas con frecuencia origina un incremento en el colesterol que se encuentra en la sangre, en especial en personas sedentarias, con desórdenes alimenticios o con obesidad.

- a) Explica si el abuso de aceites puede generar enfermedades cardíacas.
- b) Explica cuál es la función de los aceites y las grasas como nutrientes.
- c) Enuncia al menos tres sugerencias para evitar la obesidad y los problemas del sistema circulatorio.
- 12 Las grasas y aceites en contacto con el aire, humedad y a cierta temperatura sufren cambios, con el tiempo, en su naturaleza química y en sus caracteres organolépticos. Estas alteraciones reciben comúnmente el nombre de rancidez o enranciamiento. El enranciamiento puede ser por oxidación o por hidrólisis. Explica:
 - a) ¿Es lo mismo una grasa y un aceite?
 - b) ¿Cuál es la diferencia entre el enranciamiento por oxidación o por hidrólisis?
 - c) ¿Será diferente el tiempo de enranciamiento de una grasa y el de un aceite?
 - d) ¿Qué procedimientos se llevan a cabo para evitar o retardar este proceso?
- 13 Los terpenoides son comunes en muchos tejidos vegetales y componen la mayoría de los aceites esenciales como el geraniol, el citral, el mentol y el alcanfor. Responde:
 - a) ¿De dónde se extraen estos aceites esenciales?
 - b) ¿Cuál es su estructura química?
 - c) ¿Qué aplicaciones tienen los aceites esenciales?
- 14 Un hombre requiere de 2.900 kcal/día para desarrollar sus funciones normales y una mujer requiere, con el mismo propósito, de 2.490 kcal/día. Estos valores pueden ser modificados de acuerdo con la actividad que realice la persona. Para calcular el contenido calórico de un alimento se debe conocer su composición en proteínas, grasas y carbohidratos.

Determina, en varios de los alimentos que consumes a diario, el contenido de proteínas, grasas y carbohidratos. Con base en esos datos, elabora una dieta alimenticia balanceada.

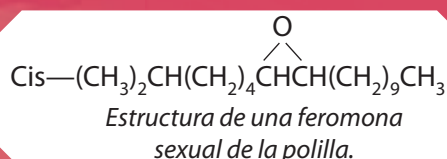
Feromonas: comunicación química de la naturaleza

"El esqueleto de la ciencia son los hechos, pero los músculos y los nervios son el significado que se les confiere, y el alma de las ciencias son las ideas".

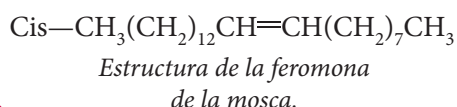
Ruy Pérez Tamayo



▲ Polilla gitana



▲ Las grandes antenas de la polilla le permiten detectar feromonas presentes en el aire en concentraciones de partes por billón.



▲ Algunas feromonas de insectos son hidrocarburos alifáticos.

El término *feromona* proviene de dos raíces griegas: *pherein* (transportar) y *hormán* (excitación). La existencia de feromonas se ha conocido por siglos y, aparentemente, a partir de observaciones de picaduras masivas de abejas como respuesta a sustancias químicas liberadas por la picadura de una sola abeja. El primer aislamiento e identificación de la feromona de un insecto (la polilla del gusano de la seda) fue realizado en 1959 por científicos alemanes. Desde entonces, cientos de feromonas de insectos han sido identificadas.

La comunicación química es común en la naturaleza: plantas y animales emiten sustancias químicas y las envían como mensajes que alteran la fisiología del animal o planta que la recibe. Las feromonas hacen parte de una clase de comunicación química propia de los animales para transmitir a otros miembros de su especie señales de territorialidad, de estímulo, de agregación, de alarma y de atracción sexual, entre otras.

- **Feromonas de alarma:** el "olor del miedo". Algunos animales comunican a otros miembros de su especie que existe algún peligro inminente, para lo cual utilizan las feromonas de alarma.
- **Feromonas territoriales:** se usan para marcar territorio, así como lo hacen los perros, los gatos y los grandes felinos, al orinar en el terreno donde viven.
- **Feromonas de agregación o congregación:** Se utilizan para reunir a otros miembros de la misma especie, así como lo hacen las hormigas cuando encuentran una fuente alimenticia: segregan un compuesto químico (feromona) que puede ser percibido por otros miembros y rápidamente estos llegan a la fuente de alimento (feromona de pista). En las abejas, por ejemplo, las feromonas influyen de manera determinante en la armonía social de la colonia.
- **Feromonas sexuales:** las emiten algunas especies, por ejemplo, en algunos insectos las segrega la hembra y tiene por objeto hacerle saber al macho que es el momento ideal para el apareamiento.

Durante décadas se ha especulado sobre el papel ejercido por compuestos de este tipo en los seres humanos. Investigaciones al respecto han logrado aislar compuestos presentes en el sudor de las axilas y los órganos genitales que, al parecer, en determinadas concentraciones, producen estímulos sexuales en los seres humanos. Por ello, algunos científicos consideran que hay suficientes bases para creer en la frase popular que dice: "Tengo química con esa persona".

FEROMONAS SEXUALES DE INSECTOS Y CONTROL DE PLAGAS

Las feromonas sexuales pueden ser utilizadas para controlar plagas de insectos que provocan daños en las cosechas.

Por sus propiedades atractivas o repulsivas, las feromonas sexuales de los insectos tienen aplicaciones en el área fitosanitaria y agroquímica. Las feromonas sexuales pueden ser utilizadas para controlar plagas de insectos que provocan daños en las cosechas. Por ejemplo, si se conoce la estructura química de la feromona de alguna plaga específica, esta feromona puede ser preparada en el laboratorio, y luego ser ubicada en trampas en las áreas de cultivo.

En consecuencia, los insectos, atraídos por las feromonas, quedan atrapados, con lo que se reduce su población y se aminora el daño en las cosechas. Además, mediante este sistema es posible disminuir considerablemente el uso de insecticidas químicos, y producir de esta forma cosechas menos contaminadas.

Es curioso advertir que la mayoría de feromonas de insectos son hidrocarburos: como el 2-metilheptadecano y el 17-21-dimetilheptatriacontano, por ello, en la actualidad la mayoría de feromonas empleadas en trampas para insectos son derivados de la petroquímica. Las ventajas de usar feromonas sexuales de insectos como agentes para el control de plagas frente a los insecticidas son:

- Por ser productos naturales, son biodegradables y no contaminan el ambiente.
- Se usan en pequeñas cantidades.
- Son específicas para cada especie, es decir, controlan determinada población dañina, y se evita exterminar otros insectos que podrían ser benéficos, con lo que se favorece el equilibrio biológico.



▲ Las feromonas de algunos insectos son utilizadas en las trampas para insectos ayudando en el control de plagas en los cultivos.

Reflexiono sobre lo leído...

- ¿Qué son las feromonas?
- ¿Existen feromonas humanas?
- ¿Qué aplicaciones tienen las feromonas sexuales de insectos en la industria agroquímica?
- ¿Cuál es la naturaleza química de la mayoría de las feromonas sexuales de insectos?

Fortalezco mis valores...

- ¿Qué aplicaciones tendría el aislamiento y la utilización de feromonas humanas?
- ¿La mente humana puede controlar los instintos provocados por las feromonas?
- ¿Qué es el autocontrol de la mente?
- ¿Por qué es importante tener autocontrol en todas nuestras acciones?



¿Cómo comprobar las propiedades físicas y químicas de los carbohidratos?

Los carbohidratos participan en múltiples reacciones orgánicas, sin embargo, su verdadera importancia está en las reacciones bioquímicas en las que interviene. En la práctica que se propone a continuación se comprobarán algunas de las propiedades físicas y químicas de los carbohidratos.

Conocimientos previos

Propiedades físicas y químicas de los carbohidratos.

Reactivos

- Carbohidratos: glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa,
- Alcohol etílico
- maltosa, almidón
- Reactivo de Tollens
- Reactivo de Fehling A y B
- Reactivo de Lugol
- Solución de yodo

Materiales

- 6 tubos de ensayo
- 1 gradilla
- 1 espátula
- 1 pipeta graduada de 5 mL
- 1 balanza
- 5 balones aforados de 50 mL
- 1 termómetro
- 1 estufa

Experimento 1: solubilidad

Procedimiento

1. Deposita 0,5 g de glucosa, fructosa, galactosa, sacarosa, maltosa y almidón en tubos de ensayo diferentes.
2. Adiciona a cada tubo 2 mL de agua, agita vigorosamente durante 30 segundos. Escribe tus observaciones en la tabla de resultados.
3. Repite los pasos 1 y 2, remplazando el agua por alcohol etílico. Registra tus observaciones en la tabla de resultados.

Carbohidrato	Solubilidad en agua	Solubilidad en etanol
Glucosa		
Fructosa		
Galactosa		
Sacarosa		
Maltosa		
Almidón		

Experimento 2: Identificación de aldosas y cetosas

Procedimiento

1. Prepara soluciones al 10% de varios azúcares, y vierte 1 mL de cada solución en diferentes tubos de ensayo.
2. Prepara un baño de María a una temperatura de 60 °C.
3. Adiciona a cada tubo 1 mL de reactivo de Tollens, y llévalos al baño de María durante 5 minutos. Observa los cambios que ocurren.
4. Repite los pasos anteriores, utilizando 0,5 mL de Fehling A y 0,5 mL de Fehling B.

Experimento 3: polisacáridos

Procedimiento

1. Prepara una solución concentrada de almidón; caliéntala suavemente hasta obtener un engrudo. Déjala enfriar y adiciónale 2 gotas de solución de yodo. Observa los cambios ocurridos.
2. Repite el procedimiento utilizando reactivo de Lugol. Registra los resultados.

Análisis de resultados

1. ¿Cómo interpretas los resultados de la prueba de solubilidad?
2. ¿Qué significan los resultados obtenidos con los reactivos de Tollens, Fehling y Lugol?
3. ¿Qué carbohidratos consumes en la dieta alimentaria?



¿Cómo identificar los aminoácidos y las proteínas en los alimentos?

Las proteínas cumplen numerosas funciones en el organismo. Por ejemplo, pueden actuar como enzimas, anticuerpos y hormonas, o servir como material de construcción para la reparación de tejidos. Igualmente, en caso que se requiera, los aminoácidos que componen las proteínas sirven como fuente de energía. En este laboratorio identificaremos algunos aminoácidos presentes en la albúmina de huevo y otras proteínas.

Conocimientos previos

Propiedades de aminoácidos y proteínas.

Reactivos

- Etanol
- Ácido clorhídrico
- Ácido nítrico
- Acetato de plomo
- Hidróxido de sodio al 10%

Materiales

- 1 vaso de precipitados
- 1 agitador de vidrio
- 1 mechero
- 6 tubos de ensayo
- Pinzas para tubo de ensayo
- Manzana
- Queso



Experimento 1

Procedimiento

1. Haz un orificio en la cáscara de un huevo. Separa la clara en un vaso de precipitados.
2. Prepara una solución acuosa de albúmina, agitando la clara y mezclándola con dos veces su volumen de agua.
3. Filtra la solución a través de una tela para obtener una solución homogénea de albúmina.
4. Toma cinco tubos de ensayo y vierte en ellos 1 o 2 mL de filtrado. Márcalos con 1, 2, 3, 4 y 5.
5. Calienta suavemente el primer tubo. Observa lo que ocurre.
6. Toma los demás tubos y adiciona: 2 mL de etanol al número dos; 1 mL de hidróxido de sodio al número tres; 1 mL de ácido clorhídrico al número cuatro y 1 mL de ácido nítrico al número cinco.

Registra tus observaciones.

Número del tubo ensayo	Observaciones
1	
2	
3	
4	
5	



7. En otro tubo de ensayo vierte 2 mL de albúmina y agrega 2 mL de solución de acetato de plomo y 1 mL de hidróxido de sodio. Calienta hasta ebullición. Observa el precipitado que se formó.
8. En dos vidrios de reloj coloca separadamente, un pedazo de queso y un pedazo de manzana. Adiciona a cada muestra unas gotas de ácido nítrico. Observa los resultados.

Análisis de resultados

1. ¿Qué similitudes observaste en los cinco tubos tratados durante los pasos 5 y 6?
2. ¿Qué le sucede a la albúmina al calentarla?
3. ¿Qué clases de aminoácidos se pueden identificar con la prueba del acetato de plomo?
4. ¿La manzana contiene proteínas? Explica tu respuesta.



¿Cómo elaborar un queso?

Una de las principales propiedades de las proteínas es la desnaturalización, que consiste en la desorganización molecular del polímero, por acción del calor o de otros agentes como ácidos, bases o alcoholes. En esta práctica de laboratorio se observará esta propiedad, para obtener queso.

Conocimientos previos

Propiedades físicas y químicas de las proteínas.

Reactivos

- Cloruro de sodio
- 1 litro de leche entera
- 1 pastilla de cuajo

Materiales

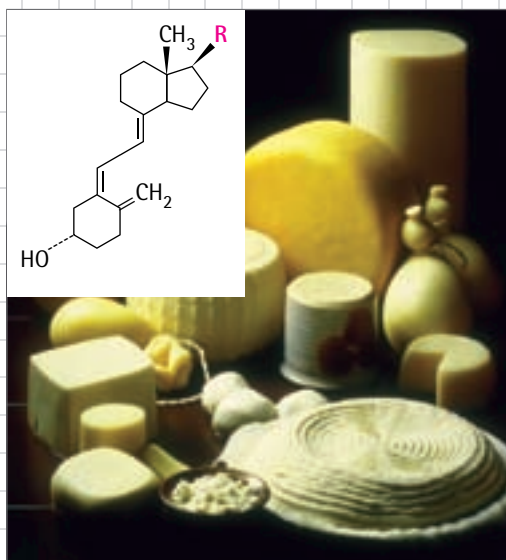
- 1 molde
- 1 colador
- 1 termómetro
- 1 recipiente grande de plástico
- 1 agitador o pala de madera
- 1 tubo de ensayo
- 1 gradilla
- 1 estufa
- 1 espátula



Experimento 1

Procedimiento

1. Toma un cuarto de tableta de cuajo, tritúrala y deposítala en un tubo de ensayo. Adiciona 5 mL de agua y agita hasta que se disuelva completamente.
2. Calienta la leche a 30 °C, agrega el cuajo disuelto, un poquito de sal y agita suavemente. Continúa calentando hasta que alcance una temperatura de 45 °C. Deja reposar hasta que se enfríe.
3. Cuando se haya formado el coágulo (caseína) y se separe el líquido (suero), filtra utilizando el colador y el recipiente de plástico. Registra los resultados obtenidos.



Análisis de resultados

1. ¿Qué factor ocasionó la desnaturalización de las proteínas de la leche?
2. ¿Cuál es la fórmula estructural de la caseína?
3. ¿Cuáles son los componentes del suero obtenido?
4. ¿Qué otros métodos se pueden aplicar para la desnaturalización de las proteínas?



¿Cómo elaborar un jabón?

Un jabón es una sal de ácido graso. Se obtiene generalmente saponificando los cuerpos grasos con lejías alcalinas, bases alcalinotérreas o con óxidos de otros metales como el PbO , según la clase de jabón que se pretenda preparar. En este laboratorio aprenderás a elaborar un jabón y a comprobar algunas de sus propiedades.

Conocimientos previos

Propiedades físicas y químicas de los lípidos.

Reactivos

- Aceite vegetal o mantequilla
- Solución de NaOH o de KOH al 25%
- Alcohol etílico
- Solución de NaCl al 30%
- Solución de CaCl_2

Materiales

- 1 vaso de precipitados de 500 mL
- 2 vasos de precipitados de 100 mL
- 1 gradilla
- 5 tubos de ensayo
- 1 agitador
- 1 pipeta graduada de 10 mL
- 1 espátula
- 1 embudo
- 1 mechero
- 1 malla de asbesto
- 2 tapones de caucho
- 1 balanza
- Papel filtro



Experimento 1: preparación de jabón

Procedimiento

1. Toma 5 g de aceite vegetal y deposítalos en un vaso de precipitados de 100 mL. Adiciona 15 mL de solución de NaOH o de KOH , y 10 mL de etanol.
2. Calienta la mezcla al baño de María durante 30 minutos, mientras agitas continuamente. Si se evapora demasiado el líquido, agrega 10 mL de solución alcohólica.
3. Comprueba que la saponificación se ha completado. Esto se evidencia por la ausencia de glóbulos grasos y del olor característico de las grasas. Si la grasa no se ha saponificado, calienta la mezcla por 10 minutos más.
4. Terminada la saponificación, agrega 60 mL de solución concentrada de cloruro de sodio y agita durante unos minutos.
5. Filtra la solución y separa la parte sobrenadante del filtrado, que corresponde al jabón. Lávalo varias veces con volúmenes de 10 mL de agua fría.



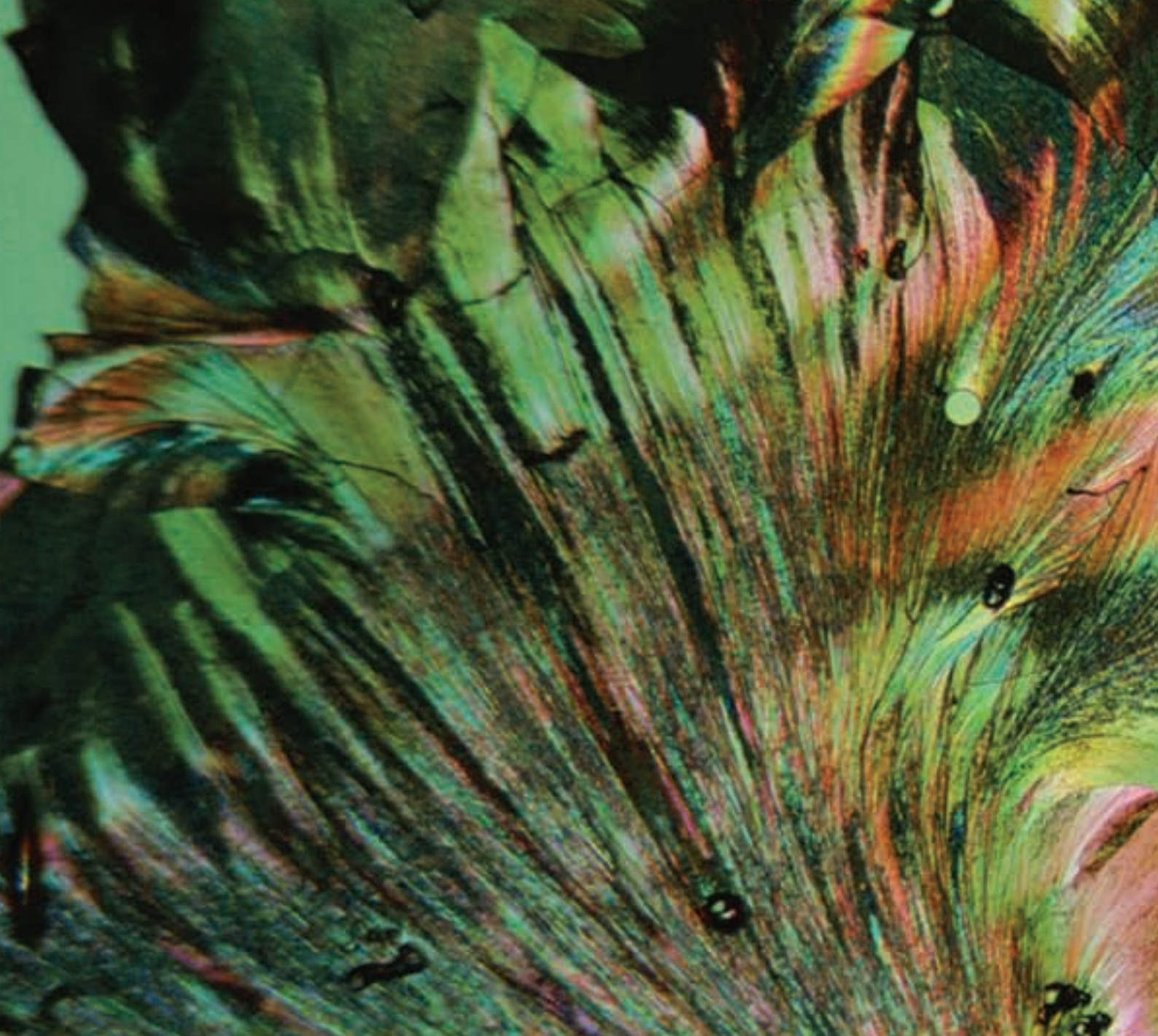
Experimento 2: propiedades de los jabones

Procedimiento

1. En dos tubos de ensayo coloca, respectivamente: una pequeña muestra del jabón obtenido y otra de jabón detergente. Adiciona a cada tubo 5 mL de agua, tápalos y agítalos. Registra tus observaciones.
2. En cada uno de los tubos anteriores, vierte 5 mL de solución de cloruro de calcio. Agita y describe los resultados.

Análisis de resultados

1. ¿En qué consiste el proceso de saponificación?
2. ¿Por qué se separa el jabón al adicionar el cloruro de sodio?
3. ¿Qué reacciones químicas ocurren durante la saponificación?
4. ¿Cuál es el efecto del cloruro de calcio sobre la espuma?
5. ¿Por qué los jabones remueven la mugre?



UNIDAD

7

Compuestos de interés bioquímico II

Temas de la unidad

1. Ácidos nucleicos
2. Vitaminas y hormonas
3. Salud, enfermedad y drogas



? Para pensar...

En esta unidad veremos tres grupos más de compuestos de interés bioquímico: los ácidos nucleicos, las vitaminas y las hormonas. Para terminar, analizaremos algunos aspectos relacionados con los medicamentos.

El conocimiento de la estructura y la función de los compuestos de interés bioquímico es importante no sólo desde el punto de vista puramente químico, sino desde la perspectiva de la salud. Hoy en día, no sólo la comunidad científica sino el común de la gente, admiten que más del 90% de las enfermedades se deben directa o indirectamente a una alimentación deficiente o desbalanceada. Es aquí donde las vitaminas juegan un papel fundamental. Estas sustancias que se hallan presentes en muchos de los alimentos que consumimos, cumplen funciones determinadas en diversas rutas metabólicas, de tal manera que si faltan, estos procesos vitales no pueden llevarse a cabo adecuadamente.

Por otro lado, las hormonas actúan como mensajeros químicos enviando señales entre los diferentes sistemas, órganos y células del cuerpo. El establecimiento de una comunicación permanente entre las diferentes partes del cuerpo es fundamental para el mantenimiento de la vida de los organismos.

Los ácidos nucleicos son, tal vez, las macromoléculas más importantes, ya que almacenan toda la información necesaria para la formación, desarrollo y mantenimiento de un organismo.

● Para responder...

- ¿De qué manera, el suministro adecuado de vitaminas nos protege contra muchas enfermedades?
- ¿Cuál es la explicación bioquímica de muchas de las enfermedades hereditarias más comunes?
- ¿De dónde se obtienen los principios activos de muchos medicamentos?

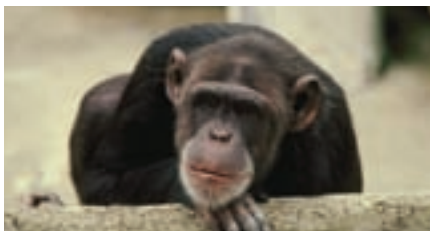


Figura 1. La diferencia entre las distintas especies reside en la secuencia de nucleótidos particular en el ADN de cada una.

1. Ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos son macromoléculas encargadas de almacenar y transmitir la información genética de una generación a otra. Pero, ¿cómo lo hacen? La respuesta está —en gran parte— en su estructura química, como veremos a continuación.

1.1 Generalidades

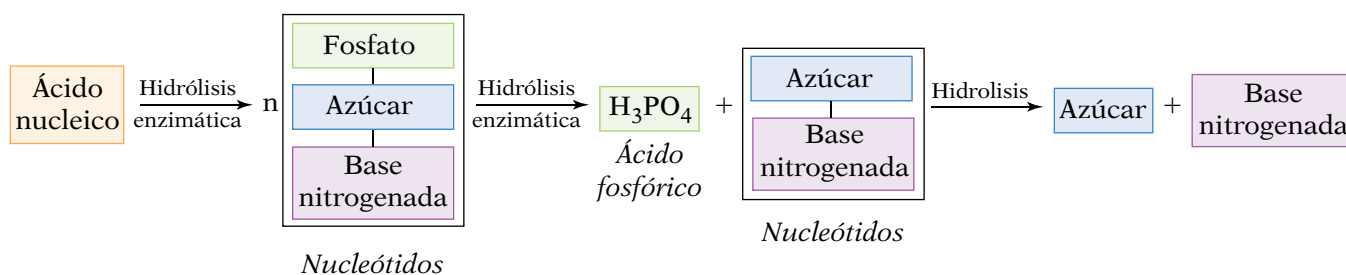
Toda la información que determina la naturaleza de una célula y por consiguiente, los rasgos principales de un ser vivo, está codificada en una molécula de ácido nucleico, conocida como ADN o ácido desoxirribonucleico, el cual además controla la división y el crecimiento celular y dirige la biosíntesis de las enzimas y otras proteínas que se requieren para que la célula desempeñe todas sus funciones.

De la misma manera que las proteínas están constituidas por unidades de aminoácidos formando grandes cadenas poliméricas, los ácidos nucleicos son polímeros formados por bloques de construcción llamados **nucleótidos** (figura 1).

1.2 Nucleótidos

Un nucleótido está formado por tres componentes: un **grupo fosfato** (PO_4), derivado de una molécula de ácido fosfórico (H_3PO_4), un monosacárido de cinco carbonos, es decir, una **pentosa** y una **base nitrogenada**.

Estos componentes pueden ser separados mediante la hidrólisis enzimática del nucleótido. En una primera etapa, se obtiene ácido fosfórico y el azúcar unido a la base nitrogenada, lo cual constituye un **nucleósido**. La hidrólisis del nucleósido genera el azúcar y la base nitrogenada. El siguiente esquema ilustra el proceso:



1.2.1 Bases nitrogenadas

Las bases nitrogenadas son moléculas heterocíclicas. Como su nombre lo indica, la estructura cíclica contiene nitrógeno, además de carbono. En la figura 2 se muestran algunos ejemplos de compuestos heterocíclicos con propiedades biológicas importantes.

Las bases nitrogenadas que forman parte de los ácidos nucleicos son derivados de dos tipos de moléculas heterocíclicas: la **purina** y la **pirimidina**. Los derivados de la purina o purinas, presentan una estructura básica constituida por dos anillos fusionados, con cuatro átomos de nitrógeno.

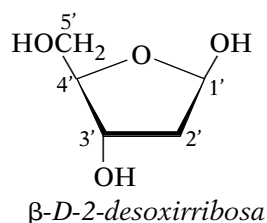
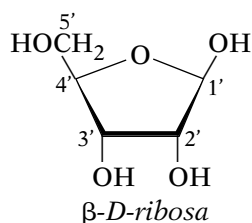


Los derivados de la pirimidina o pirimidinas, por su parte, se derivan de un anillo aromático de seis miembros, conformado por dos átomos de nitrógeno y cuatro de carbono (figura 2a). Las diferentes sustituciones sobre estas estructuras caracterizan a las bases nitrogenadas que se conocen.

Tres diferentes pirimidinas se encuentran formando parte de los nucleótidos naturales. Estas son: **citocina** o 2-oxi-4-aminopirimidina, **uracilo** o 2,4-dioxipirimidina y **timina** o 2,4-dioxi-5-metil pirimidina. Entre las purinas, se distinguen dos: **adenina** o 6-aminopurina y **guanina** o 2-amino-6-oxipurina. Con frecuencia las bases nitrogenadas se escriben de forma abreviada, empleando la letra inicial del nombre. Así, citocina = C, uracilo = U, timina = T, adenina = A y guanina (G) (figura 2b).

1.2.2 Pentosas

Se conocen dos pentosas como constituyentes de los ácidos nucleicos:



Esta última, como se puede observar, ha perdido un oxígeno en la posición 2, razón por la cual se denomina desoxirribosa. Nota que los átomos de carbono de las pentosas se denotan como 1', 2', etc. Esto tiene como propósito diferenciarlos de los átomos de carbono y nitrógeno que conforman los anillos de las bases nitrogenadas.

1.2.3 Nucleósidos

El primer paso para la formación de un nucleótido es el acople de una molécula de cualquiera de las dos pentosas con una base nitrogenada, ya sea púrica o pirimídica, para dar lugar a un **nucleósido**. El enlace químico entre las dos moléculas involucra uno de los átomos de nitrógeno de la base (posición 1 para las pirimidinas y posición 9 en las purinas) y el carbono 1' de la pentosa. A continuación se muestran, dos nucleósidos:

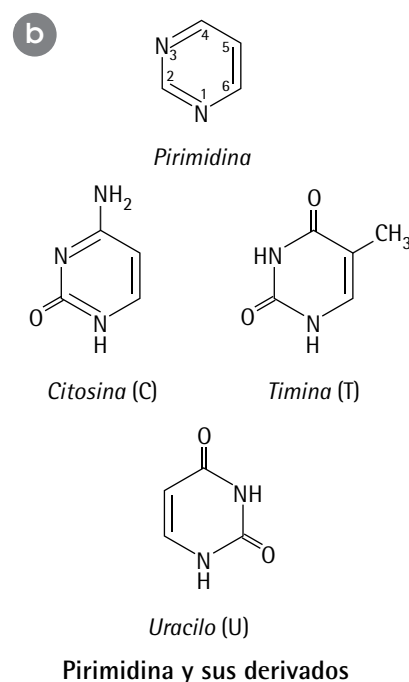
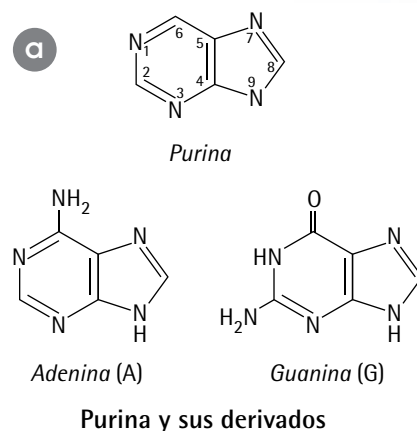
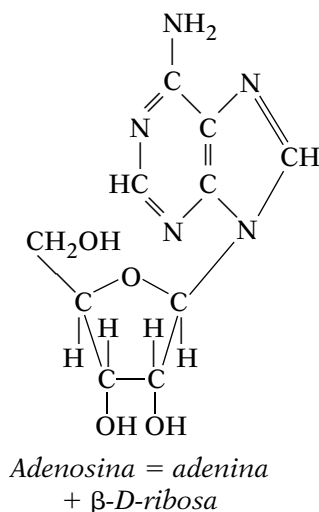
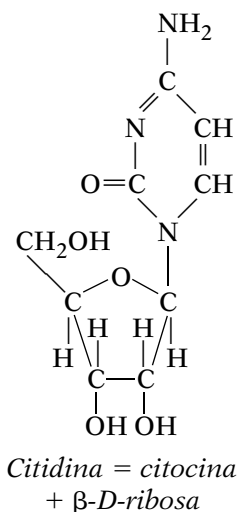


Figura 2. Purinas y pirimidinas.

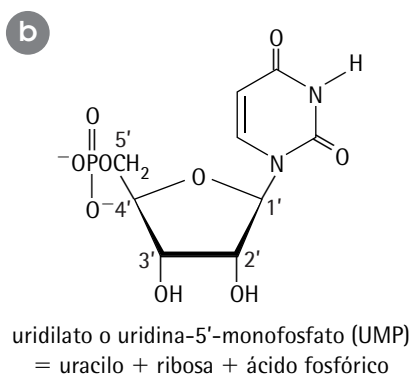
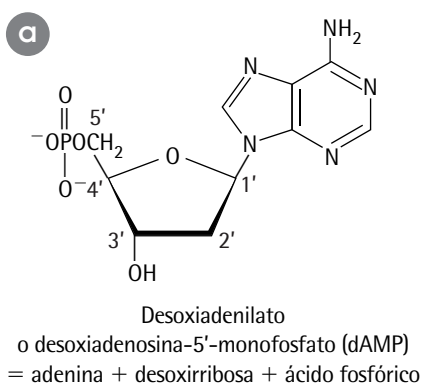


Figura 3. Dos ejemplos de nucleótidos. Los nucleótidos son los monómeros que constituyen los ácidos nucleicos.

1.2.4 Estructura de los nucleótidos

La adición de un grupo fosfato a un nucleósido, da lugar a la formación de un nucleótido. Esto se lleva a cabo mediante una reacción tipo éster entre uno de los grupos hidroxilo del azúcar y uno de los protones (H^+) provenientes de la disociación del ácido fosfórico, con la consecuente formación del enlace y la liberación de una molécula de agua. Las posiciones de los grupos involucrados en el enlace se indican a través de los números de los correspondientes carbonos (figura 3).

Generalmente, este tipo de moléculas se nombran empleando abreviaturas. Por ejemplo, el desoxiadenuosín monofosfato se designa como dAMP y el uridin monofosfato se conoce como UMP.

Uno de los nucleótidos más importantes, aunque no forma parte los ácidos nucleicos es el **adenosín trifosfato** o ATP (figura 4). Como su nombre lo indica, posee tres grupos fosfato, en lugar de uno, como el AMP. La formación de los enlaces entre grupos fosfato requiere de una gran cantidad de energía, por lo que el ATP actúa como reserva energética dentro de las células. Cuando esta energía es requerida, los enlaces entre fosfatos se rompen y la energía que se utilizó en su formación es liberada para ser usada en diversos propósitos.

1.3 Estructura de los ácidos nucleicos

1.3.1 Ácido desoxirribonucleico (ADN)

Los nucleótidos que conforman el ADN están compuestos por una molécula de desoxirribosa, un grupo fosfato y una base nitrogenada, que puede ser: adenina, guanina, timina o citosina, más no, uracilo. Por lo tanto, el ADN es un polímero formado por la unión de cuatro diferentes monómeros en diversas combinaciones.

La unión entre nucleótidos se da mediante un enlace tipo éster entre el protón no disociado del grupo fosfato, el cual se halla unido al OH del carbono 5' de un azúcar y el OH del carbono 3' del otro azúcar. Una vez, se libera una molécula de agua y se forma un enlace fosfodiéster ($-O-P-O-$), como se muestra en la figura 5.

Uno de los extremos del polímero de ácido nucleico, llamado **extremo 3'**, tiene un hidroxilo libre en el carbono 3', mientras que el otro extremo, llamado **extremo 5'**, tiene un residuo de ácido fosfórico en el carbono 5', de manera análoga a los extremos N y C terminal de las proteínas.

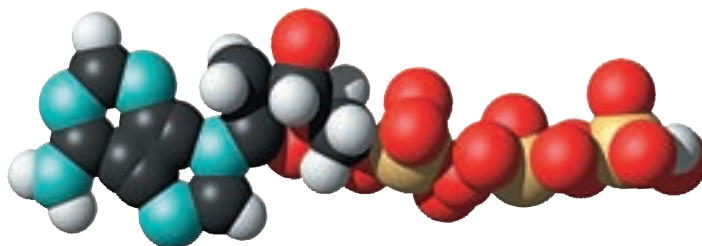
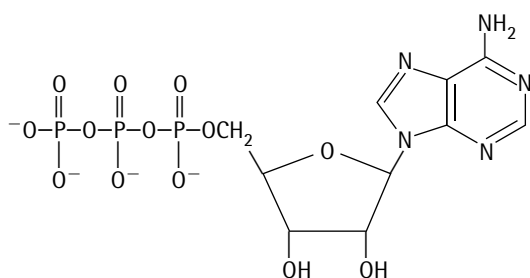


Figura 4. Estructura del adenosín trifosfato, ATP, un nucleótido de gran importancia bioquímica.

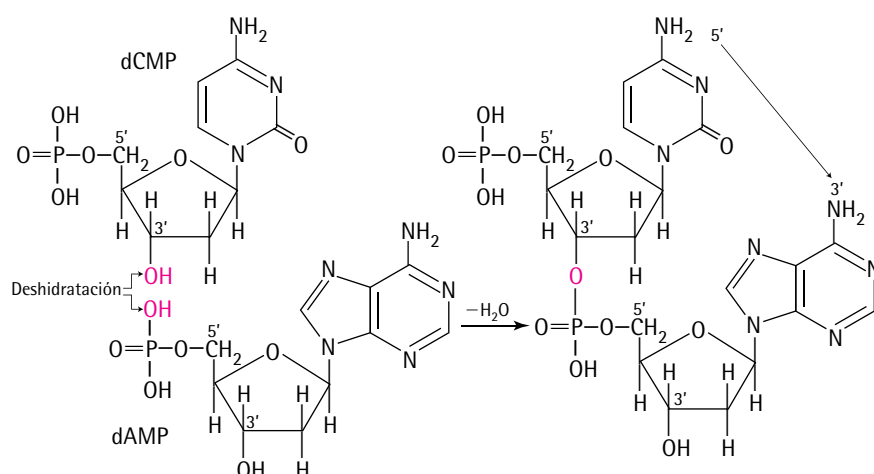


Figura 5. Enlace fosfodiéster entre dos nucleótidos (dCMP y dAMP).

Así como una proteína tiene una estructura de poliamida con diferentes cadenas laterales unidas a ella (representadas por los grupos R de cada aminoácido), un ácido nucleico tiene una estructura de azúcar y fosfato alternados, con diferentes bases nitrogenadas unidas a este esqueleto básico. La secuencia de nucleótidos en una cadena de ADN se describe en dirección 5'-3', identificando las bases, de forma abreviada, en el orden de aparición.

Estructura tridimensional del ADN

Al igual que las proteínas, los ácidos nucleicos también poseen varios niveles de estructura. La estructura primaria de un ácido nucleico está dada por la secuencia de bases nitrogenadas unidas al esqueleto de nucleósidos (azúcar + fosfato). La interacción entre bases da lugar a la formación de puentes de hidrógeno entre ellas, lo que determina el siguiente nivel de estructura. Estos puentes de hidrógeno sólo se establecen entre determinados pares de bases, denominados **complementarios**. Así, adenina (A) y timina (T), constituyen un par de bases complementarias, al igual que guanina (G) y citosina (C) (figura 6).

La estructura secundaria del ADN fue descubierta por **James Watson y Francis Crick**, en 1953, quienes la dedujeron a partir de los datos experimentales que se tenían hasta el momento. Por ejemplo, **Erwin Chargoff**, también en 1953, demostró que la cantidad de adenina presente en una molécula cualquiera de ADN, sin importar su procedencia, era igual a la cantidad de timina. Igualmente las cantidades de guanina y citosina eran siempre las mismas. Poco tiempo después **Maurice Wilkins y Rosalind Franklin** obtuvieron imágenes del ADN por difracción de rayos X (figura 7). Según la propuesta de Watson y Crick, la molécula de ADN consta de dos cadenas simples de ADN, cuyas bases complementarias se encuentran apareadas, de tal manera que se forma una doble hélice. Con el fin de lograr el mayor apareamiento posible, las bandas individuales de ADN que forman la doble hélice se alinean en direcciones opuestas, una de 3' a 5' y la otra de 5' a 3', de forma **antiparalela** (figura 8a).

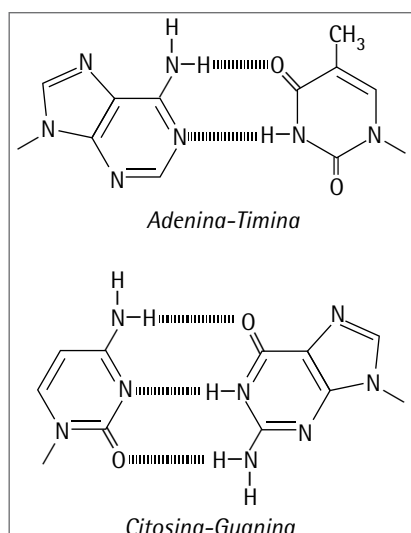


Figura 6. Puente de hidrógeno entre bases complementarias (A-T y C-G). Nota que la unión C-G es más fuerte que A-T, pues se forman tres puentes de hidrógeno.

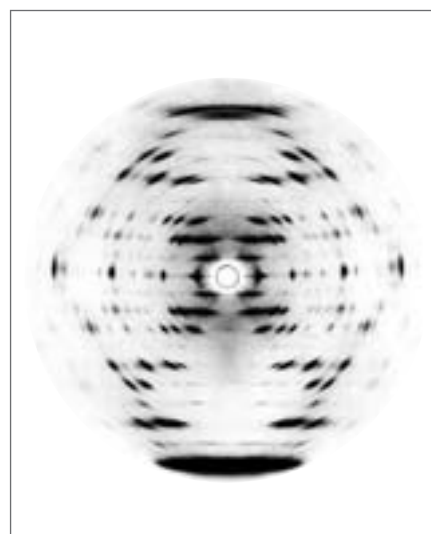


Figura 7. Imagen de una molécula de ADN obtenida por difracción de rayos X, en 1953.

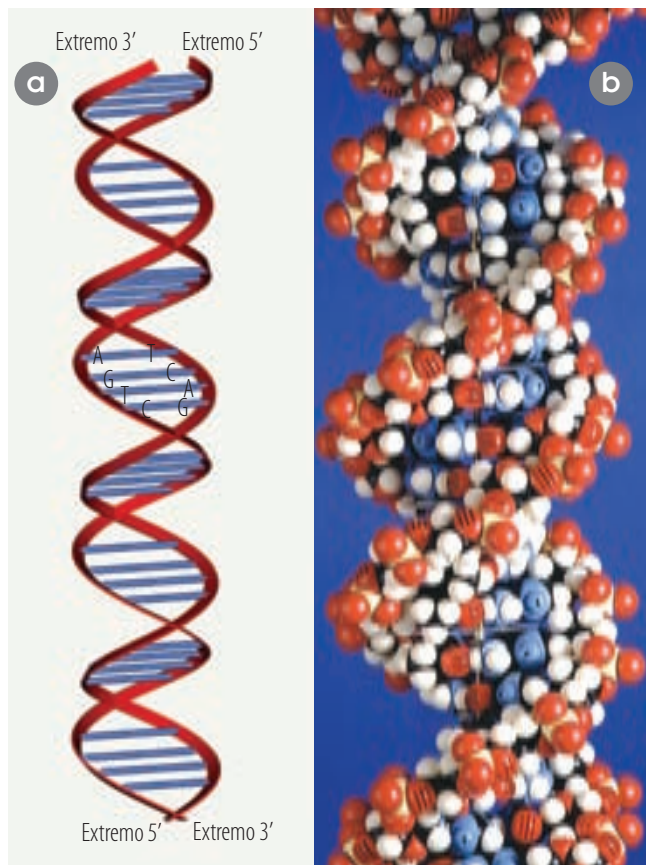


Figura 8. a) Esquema de la doble hélice. b) Modelo.

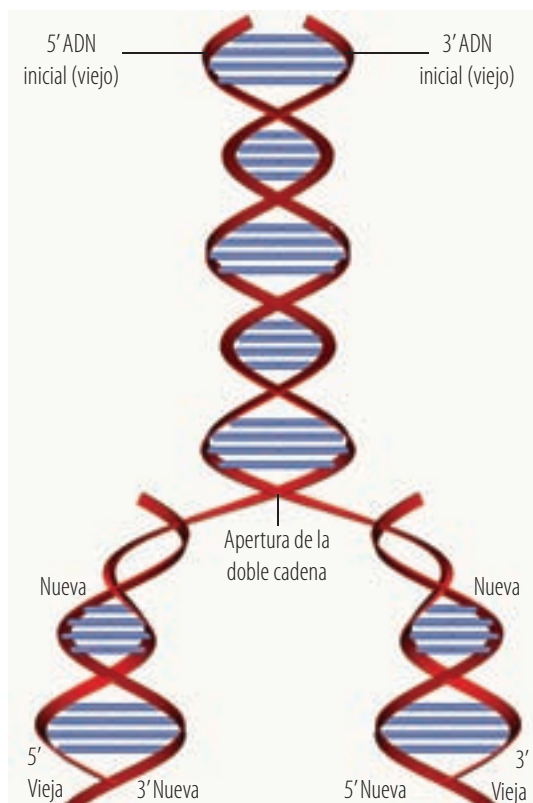


Figura 9. Replicación de ADN.

Estructura terciaria y cuaternaria del ADN

Como sabemos, el ADN de una célula se encuentra en el interior del núcleo de ésta. El diámetro promedio del núcleo de una célula humana es $1 \mu\text{m}$ (10^{-6} m), mientras que el ADN total, si se estira, puede llegar a medir 1 m . ¿Cómo se almacena una molécula de estas dimensiones, en un espacio tan pequeño?

En la figura 10 se muestran los diferentes niveles de organización de una molécula de ADN. La doble hélice se enrolla alrededor de estructuras globulares, llamadas **nucleosomas**. Los nucleosomas están constituidos por ocho proteínas acopladas, conocidas como **histonas**. El conjunto de nucleosomas y ADN forma una especie de collar de cuentas que se enrolla sobre sí mismo, en una espiral muy denso. El resultado son fibras más gruesas, llamadas fibras de cromatina, la cuales se enrollan sobre sí mismas formando los cromosomas.

Replicación del ADN

El ADN de un organismo contiene la información genética que determina todos los rasgos, físicos y químicos, de dicho organismo. Así, cada vez que una célula se divide, debe sintetizarse una copia completa de su ADN, para la nueva célula. Este proceso se conoce como **replicación** e implica la acción de varias enzimas para catalizar cada paso de la síntesis. Para empezar, es necesario

desestructurar los cromosomas, las fibras de cromatina y los nucleosomas, para luego abrir la doble hélice. Sobre cada una de las cadenas de ADN se van añadiendo nucleótidos, cuyas bases son complementarias con las bases de la cadena que sirve de molde (A con T y C con G). La adición de nucleótidos es catalizada por la enzima **ADN-polimerasa** y se realiza en sentido $5'-3'$. Como las dos cadenas del ADN que se está replicando son antiparalelas, las DNA-polimerasas añaden nucleótidos en direcciones opuestas (figura 9). Finalmente, se obtienen dos moléculas de ADN, cada una de las cuales consta de una hebra nueva y una vieja (el molde), por lo que se dice que la síntesis de ADN es **semiconservativa** (figura 10).

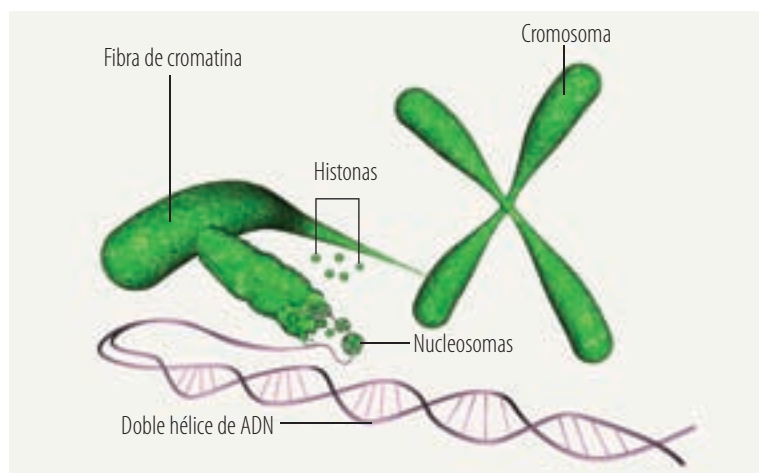


Figura 10. Estructura terciaria y cuaternaria del ADN.



1.3.2 Ácido ribonucleico (ARN)

El ARN, al igual que el ADN es una molécula que almacena y transfiere información genética dentro de las células. Algunos virus, por ejemplo, almacenan su información genética en moléculas de ARN, en lugar de ADN (figura 11). En los organismos donde el ADN es el principal depósito de información, el ARN cumple funciones de intermediario, transfiriendo esta información entre diferentes puntos de la célula. Por ejemplo, durante la síntesis de proteínas, como vimos en la unidad precedente, dos tipos de ARN, el ARN_m y ARN_t transportan y traducen el mensaje genético contenido en el ADN.

Estructura

Los nucleótidos que forman el ARN contienen una ribosa, en lugar de una desoxirribosa; un grupo fosfato y cualquiera de las siguientes bases nitrogenadas: adenina, guanina, citosina y uracilo; pero nunca timina (figura 12).

El ARN consta de cadenas sencillas de polinucleótidos, a diferencia del ADN, que es una doble hélice. Aún cuando las cuatro bases mencionadas se pueden acoplar (A con U y G con C), las moléculas de ARN no forman hélices dobles debido a la presencia del grupo OH en el carbono 2 de la ribosa, que no está en la desoxirribosa, y que representa un impedimento espacial para el plegamiento de la cadena. Las cadenas de ARN también poseen una dirección 3'-5' y son más flexibles e inestables que el ADN.

Tipos de ARN

Existen tres tipos principales de ARN, **ribosomal** (r), mensajero (m) y **de transferencia** (t). Cada uno posee una estructura tridimensional característica y cumple una función específica.

• ARN ribosomal (ARN_r)

Los **ribosomas** son organelos celulares que se encuentran en el citoplasma de las células. Son **nucleoproteínas**, es decir, están compuestos por una parte proteica, que representa cerca de 40% del peso, y una parte de ácidos nucleicos, que constituye el 60% del peso y corresponde al ARN_r . Como mencionamos antes, los ribosomas constituyen la maquinaria donde se lleva a cabo la síntesis de proteínas. Recordemos que para ello, el ARN_m debe acoplarse al ribosoma. Se cree que el ARN_r sirve como punto de anclaje para el ARN_m a través del apareamiento de bases complementarias entre ambas cadenas.

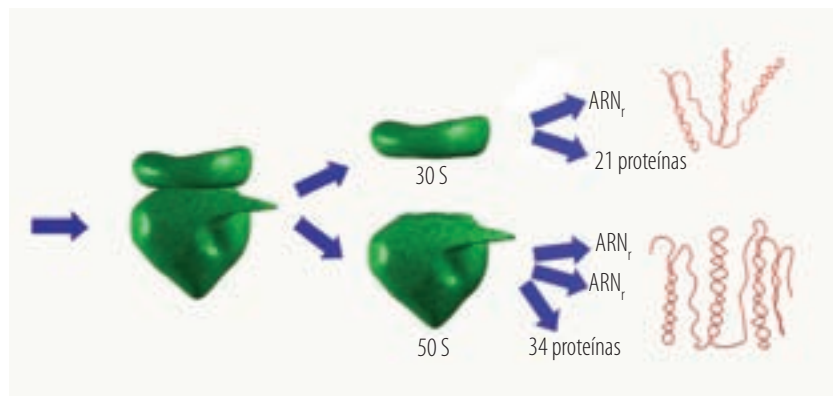


Figura 13. Los ribosomas son organelos celulares, compuestos por dos subunidades de nucleoproteínas, denominadas 30 S y 50 S, las cuales se descomponen en cadenas de ARN_r y proteínas de diferentes tamaños.

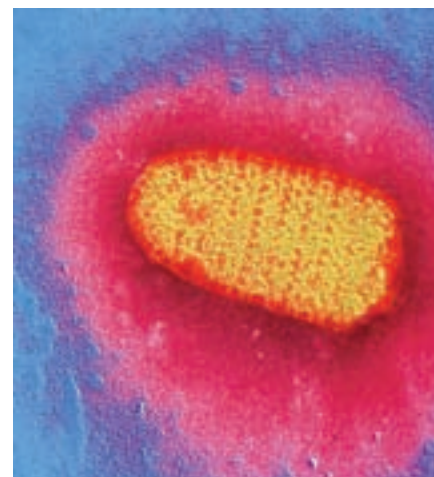


Figura 11. Virus ARN: bacteriófago T4.

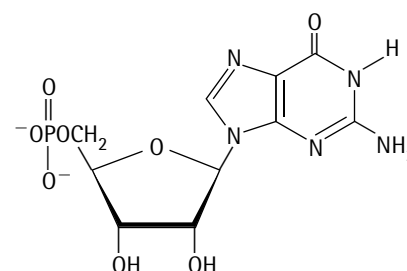


Figura 12. Nucleótido de ARN (GMP).

EJERCICIO

1. La presencia de ribosa en el ARN hace que esta molécula sea susceptible a la degradación por bases fuertes, mientras que el ADN no lo es. ¿Por qué?
2. A diferencia de lo que ocurre en el ADN, en el ARN las proporciones A-U y G-C no son necesariamente iguales, ¿por qué?

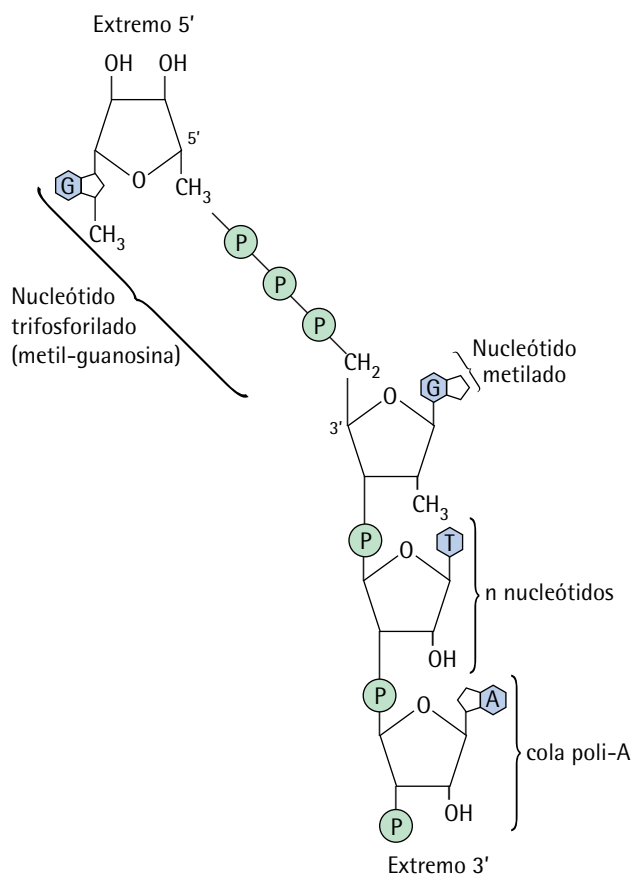


Figura 14. ARN mensajero.

• ARN mensajero (ARN_m)

Presenta un peso molecular muy variable, entre 300.000 y dos millones. Esta sustancia contiene la información para dirigir la síntesis de una o más proteínas específicas. El nombre de mensajero deriva de su papel de intermediario: actúa como vehículo de transporte de información genética entre el DNA y las proteínas. Es una cadena lineal y se caracteriza porque en el extremo 3' posee varios nucleótidos de adenina, que conforman la llamada cola poli-A. Además, en el extremo 5' presenta un nucleótido trifosforilado (como el ATP) y metilado. Se cree que estos rasgos específicos intervienen en el reconocimiento y acople entre el ARN_m y los ribosomas (figura 14).

• ARN de transferencia (ARN_t)

Se trata de moléculas pequeñas, con pesos moleculares comprendidos entre 25.000 y 40.000. Intervienen en la síntesis de proteínas, complementando la función del ARN_m al traducir el lenguaje de nucleótidos a aminoácidos. Por ello, existe un ARN_t específico para cada aminoácido. Contiene entre 75 y 90 nucleótidos. La formación de puentes de hidrógeno entre bases complementarias, en ciertos puntos, le confiere una estructura tridimensional similar a un trébol (figura 15). La función del ARN_t es transportar aminoácidos concretos a sus puestos específicos en el molde que sintetiza las proteínas. Cada ARN_t tiene una secuencia de tres nucleótidos llamada **anticodón**, la cual resulta clave para la síntesis de proteínas.

1.4 Ácidos nucleicos como portadores de la información genética

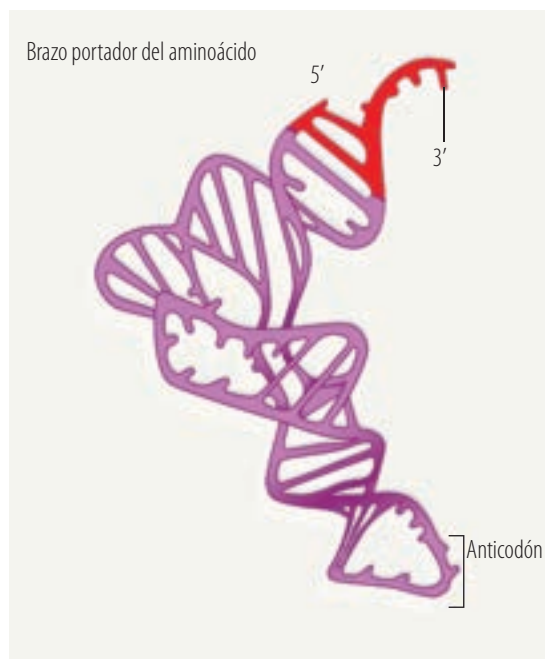


Figura 15. ARN de transferencia.

La función principal del ADN es almacenar la información genética, de manera que sea transmitida adecuadamente a las siguientes generaciones. Adicionalmente, dicha información debe ser constantemente consultada para poder controlar y coordinar el funcionamiento correcto de las células que componen un organismo. Podemos identificar tres procesos básicos a través de los cuales se logra cumplir con estas tareas. La **replicación** o duplicación del ADN, la **transcripción** o copia del mensaje genético desde el ADN hasta el ARN y la **traducción** o expresión de este mensaje en forma de proteínas y en último término en todos los rasgos morfológicos y fisiológicos que caracterizan un organismo (figura 16).

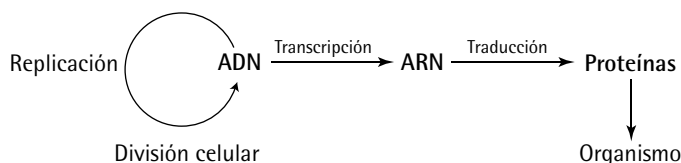


Figura 16. Flujo de la información genética dentro de una célula y entre células de diferentes generaciones.



1.4.1 Transcripción: síntesis de ARN

La transcripción se basa en la copia de un segmento de una de las cadenas del ADN a una molécula de ARN, concretamente de ARN_m . Se lleva a cabo en el núcleo de las células y requiere, al igual que la replicación del ADN, de la apertura parcial de la doble hélice. Catalizados por la enzima **ARN-polimerasa**, los ribonucleótidos se alinean en el orden apropiado sobre sus bases complementarias en el ADN, siguiendo el sentido 5'-3'. Una vez que se ha completado la síntesis de la molécula de ARN_m , esta es separada de la cadena complementaria de ADN y emigra hacia el citoplasma celular, donde se realiza la traducción y síntesis de proteínas.

Solamente una de las dos cadenas de ADN es transcrita en ARN_m , a diferencia de lo que ocurre en la replicación del ADN, en la cual se copian ambas cadenas. La cadena que contiene las instrucciones que van a ser ejecutadas, por ejemplo, la síntesis de una enzima, se llama **cadena de información**. La cadena complementaria se denomina **cadena patrón** o plantilla, pues, a partir de ella se realiza la transcripción, de manera que el ARN_m producido es una copia de la cadena de información y su tamaño depende de la complejidad del mensaje que debe ser transmitido. El segmento de ADN que es transcrito se denomina **gen** y el conjunto de todos los genes en un organismo es su **genoma**.

Primera base	Segunda base				Tercera base
	U	C	A	G	
U	Fenilalanina	Serina	Tirosina	Cisteína	U
	Fenilalanina	Serina	Tirosina	Cisteína	C
	Leucina	Serina	Señal de terminación	Señal de terminación	A
	Leucina	Serina	Señal de terminación	Triptófano	G
C	Leucina	Prolina	Histidina	Arginina	U
	Leucina	Prolina	Histidina	Arginina	C
	Leucina	Prolina	Glutamina	Arginina	A
	Leucina	Prolina	Glutamina	Arginina	G
A	Isoleucina	Treonina	Asparagina	Serina	U
	Isoleucina	Treonina	Asparagina	Serina	C
	Isoleucina	Treonina	Lisina	Arginina	A
	Metionina (señal de inicio)	Treonina	Lisina	Arginina	G
G	Valina	Alanina	Ácido aspártico	Glicina	U
	Valina	Alanina	Ácido aspártico	Glicina	C
	Valina	Alanina	Ácido glutámico	Glicina	A
	Valina	Alanina	Ácido glutámico	Glicina	G

Figura 17. Código genético. Equivalencia entre codones y aminoácidos de ARN_m .

1.4.2 Traducción: síntesis de proteínas

La transferencia de información desde los ácidos nucleicos hasta la maquinaria encargada de la síntesis de proteínas se realiza a través de un lenguaje cuyas letras son los nucleótidos y más específicamente, la secuencia de bases nitrogenadas, conocido como el **código genético**. Las palabras en este lenguaje son conjuntos de tres bases consecutivas, denominadas **codones**. Cada codón o triplete de bases posee un conjunto de tres bases complementarias, denominado **anticodón**. Ambos, codón y anticodón, equivalen a un único aminoácido (figura 17), por lo que, la adición de aminoácidos durante la síntesis de una proteína se realiza según el orden de codones presentes en el ARN_m . La traducción como tal, se realiza cuando un ARN_t dado se acopla con un codón en el ARN_m a través del correspondiente anticodón (figura 18). Una vez se ha completado la síntesis de la proteína, un codón portador de la señal de terminación impide la adición de más aminoácidos y la proteína es liberada del ribosoma al citoplasma celular, desde donde es transportada a donde debe cumplir su función.

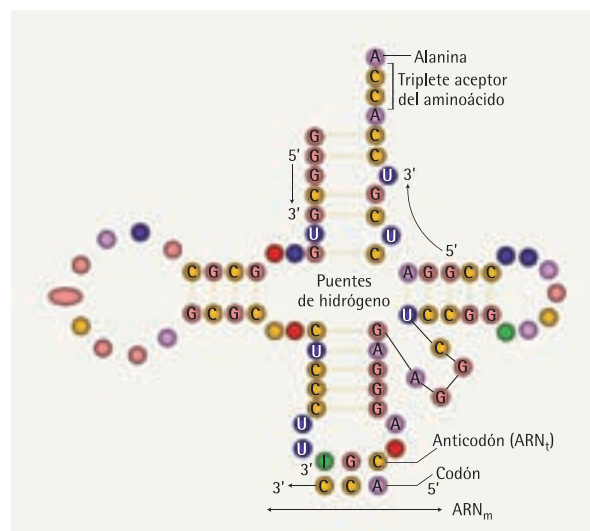


Figura 18. Acople entre un codón en el ARN_m y un anticodón en el ARN_t para la Ala.

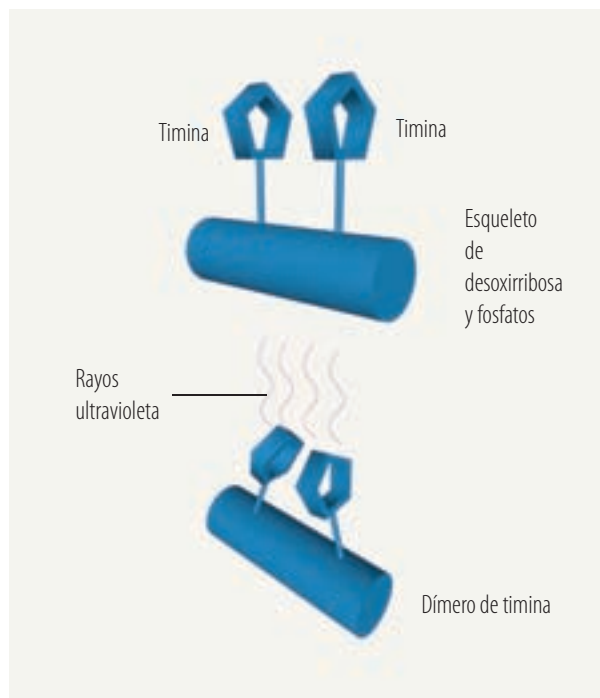


Figura 19. Las radiaciones no ionizantes como los rayos UV, pueden causar mutaciones al provocar la fusión de dos bases adyacentes, como en este caso, en el cual dos timinas forman un dímero.

1.4.3 Mutaciones

Las mutaciones se presentan cuando ocurre un cambio en la secuencia de bases nitrogenadas en el ADN. Estas pueden deberse a errores durante la replicación o la reparación del ADN. La frecuencia con la cual ocurren las mutaciones es cercana a una por cada millón de divisiones celulares. Algunos factores como virus, agentes químicos, luz ultravioleta y radiación ionizante, incrementan la frecuencia y la velocidad de las mutaciones.

Cuando una mutación involucra una **célula germinal**, como los óvulos, es transmitida a la siguiente generación. Es el caso, por ejemplo, de las enfermedades hereditarias. Por el contrario, si la mutación ocurre en **células somáticas**, como en el hígado o en los músculos, es transmitida a las células hijas productos de la división celular normal. Varios tipos de cáncer son generados por células que se han mutado y que se dividen a una tasa mucho mayor de lo normal, por lo que producen tumores.

Un cambio en la secuencia de bases del ADN y por ende en los ARN_m transcritos pueden tener diferentes efectos sobre las cadenas proteicas que se derivan de ellos. La alteración de un codón resulta en la lectura de un aminoácido incorrecto. Dependiendo del lugar que ocupe este aminoácido en la proteína, puede alterar total, parcial o imperceptiblemente la actividad de dicha proteína. Se dice entonces que la mutación es *aceptable*, *parcialmente aceptable* o *inaceptable* para la ejecución

de las funciones de esa molécula. Por ejemplo, si el aminoácido alterado se halla en el sitio activo de una enzima, es altamente probable que esta enzima no cumpla adecuadamente su función catalítica. No obstante, el análisis cuidadoso del código genético muestra que, codones similares, codifican aminoácidos con grupos funcionales similares (figura 18). De esta manera se evita la ocurrencia de mutaciones inaceptables.

Otra forma de alteración es la aparición prematura de una señal de terminación, que trae como consecuencia la producción de un fragmento de la proteína prevista y por tanto la pérdida de la funcionalidad de la molécula.

Hasta el momento hemos mencionado mutación por **sustitución** de bases. Sin embargo, también pueden presentarse errores por **delección** o por **inserción** de una o más bases en un gen.

Ahora bien, ¿por qué se producen las mutaciones? Un gran número de mutaciones son de origen desconocido y se denominan mutaciones **espontáneas**. En otros casos, es posible identificar un **agente causal** de las alteraciones, por lo que se habla de mutaciones **inducidas**. Los agentes causales, llamados también **mutágenos** o **mutagénicos** pueden ser de diversos tipos:

- **Radiaciones ionizantes:** los flujos de protones o de neutrones, así como los rayos α , β , γ o X, producen cambios en los números de oxidación de los elementos por la expulsión de electrones, lo cual altera la estabilidad y conformación tridimensional de las moléculas.
- **Radiaciones no ionizantes:** la radiación ultravioleta y el calor, entre otras, ocasionan una elevación de los niveles de energía de los átomos, haciéndolos menos estables (figura 19).

EJERCICIO

1. Elabora una lista de posibles factores de riesgo en tu entorno que pueden causar mutaciones.
2. Escribe la secuencia de aminoácidos que tendría una proteína formada a partir de la siguiente cadena de ADN: TAC ACC GCC CGG AAT GTA GCA GTC CGG TAA.



- **Mutágenos químicos:** son sustancias que incrementan la mutabilidad de los genes, propiciando la ocurrencia de errores en el proceso de replicación del ADN. Por ejemplo, algunos mutágenos poseen estructuras similares a las de las bases nitrogenadas, por lo que pueden introducirse en el lugar correspondiente a una base nitrogenada cualquiera. También puede ocurrir que el mutágeno altere químicamente una base, sin cambiar su ubicación en la cadena. Por ejemplo, el ácido nitroso, por desaminación directa, convierte la adenina en hipoxantina y la citosina en uracilo (figura 20).

1.4.4 Genotipo y fenotipo

La información almacenada en los genes se transmite de padres a hijos a través de las proteínas. Estas, determinan las características físicas de los individuos, tales como la estatura, el color del pelo, ojos o piel, lo mismo que la propensión a ciertas enfermedades. La información contenida en los genes está, a su vez modulada por otros factores genéticos y ambientales lo cual permite un rango muy grande de variabilidad tanto en condiciones de salud y enfermedad, que hacen que cada individuo sea único.

El **genotipo** es el conjunto de instrucciones necesarias para construir y mantener un organismo vivo. Se encuentra presente en todas las células y está escrito en el código genético, que se copia en el proceso de la división celular y pasa de generación en generación. Por su parte, el **fenotipo** es el conjunto de características bioquímicas, físicas y morfológicas observables, determinadas por el genotipo y las condiciones ambientales en las cuales se expresan (figura 21).

Durante los últimos años, uno de los campos de estudio de la genética ha sido la búsqueda de la relación entre lo que viene programado en los genes y la forma como estos se expresan. La expresión de un defecto genético depende de varias circunstancias. Hay enfermedades **dominantes** en las cuales, siempre que se presenta el defecto en el gen, se expresa la enfermedad. En las **recesivas** se requiere que las dos copias del gen, la heredada del padre y la heredada de la madre, estén defectuosas. En otros casos hay una propensión a una cierta enfermedad, originada en un problema genético. Por ejemplo, la hipercolesterolemia se debe a un defecto en el receptor de una lipoproteína. Su defecto produce una predisposición al infarto cardiaco, que se aumentará con factores de riesgo como el cigarrillo, la obesidad, el estrés y los altos niveles del aminoácido homocisteína.

Si el defecto en la actividad de la proteína es severo y ésta juega un papel importante en la estructura o función de las células, los síntomas sobrevienen en el feto y éste no es viable. La severidad y la edad de aparición dependen del tipo de defecto en la proteína, del papel que ésta cumple en la célula y de si se requieren otros factores genéticos o ambientales para que se manifieste la enfermedad.



Figura 20. El nitrito de sodio es un aditivo usado para conservar y colorear las carnes frías y evitar la formación de toxinas bacterianas. En el estómago, el NaNO_2 se convierte en ácido nitroso.

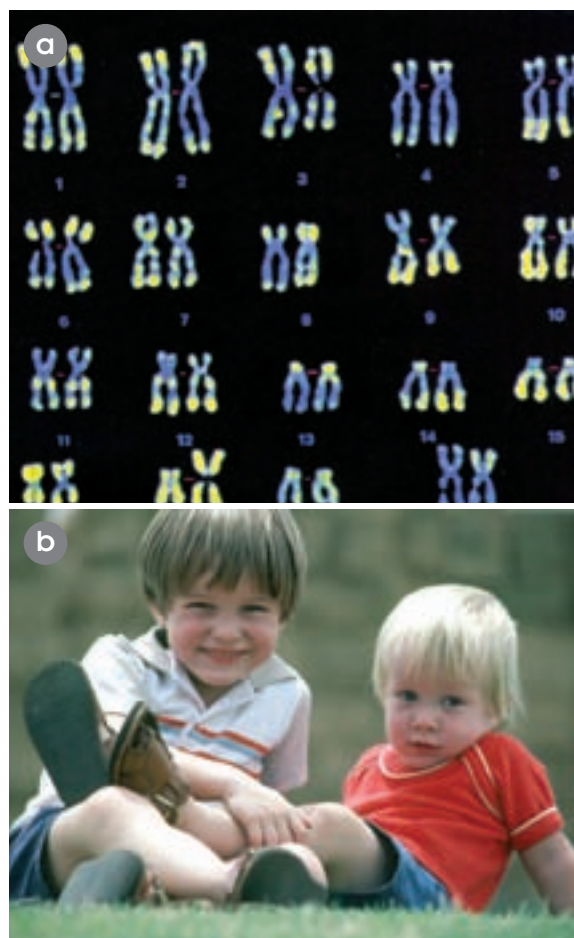


Figura 21. a) Los cromosomas contienen los genes y por tanto constituyen el genotipo de un organismo. b) El fenotipo es la expresión de los genes, en el individuo, en su color de pelo, piel, estatura, etc.

EJERCICIO

Consulta sobre los mecanismos de control y prevención de errores en la replicación del ADN.



Figura 22. La ingeniería hace posible la inserción del material genético de un organismo en el núcleo de otro, modificando así su fenotipo.



Figura 23. El conocimiento de la biología y la fisiología de las células ha servido para dilucidar las causas fisiológicas y hereditarias de muchas enfermedades, desde un punto de vista molecular.

1.5 Ingeniería genética

1.5.1 Antecedentes

El ADN fue descubierto por el químico suizo **Friedrich Miescher** en 1868. La demostración de que el ADN contiene la información genética se hizo por primera vez en 1944, en una serie de experimentos realizados por Avery, MacLeod y McCarty, quienes mostraron que la determinación genética del tipo de la cápsula de un neumococo específico podía ser transmitida a otro neumococo de un tipo capsular diferente, introduciendo ADN purificado de uno en el otro.

En 1973, Paul Berg y Stanley N. Cohen, de la universidad de Stanford, y Herbert Boyer, de la universidad de San Francisco, sentaron las bases para el desarrollo de la ingeniería genética. Cohen y Boyer trasplantaron genes funcionales de diferentes organismos a bacterias, las cuales expresaban el gen y producían grandes cantidades de la proteína como fábricas biológicas (figura 22).

1.5.2 Técnicas

■ **Detección y cuantificación:** se realiza por absorción de radiación ultravioleta, teniendo en cuenta que el ADN de doble cadena absorbe menos fuerte la radiación que en monocatenario. Por otro lado, técnicas de **electroforesis en gel de alta resolución**, permiten separar los diferentes tipos de ARN.

El análisis de los puntos de fusión de diferentes muestras de ADN permite definir la proporción de bases complementarias (T-A:C-G) presentes. La unión entre G y C implica la formación de tres puentes de hidrógeno, mientras que entre A y T sólo se forman dos puentes. Así, entre más G-C haya, mayor será la temperatura de fusión en la muestra.

■ **ADN recombinante:** estas técnicas se basan en la combinación de ADN proveniente de diferentes organismos, para producir un resultado específico en el organismo receptor.

■ **Hibridación:** consiste en construir dobles cadenas por complementariedad de bases entre cadenas simples de ADN y de ARN, o entre cadenas del ADN de distintas especies.

1.5.3 Aplicaciones

La recombinación de ADN es muy útil para producir diversos medicamentos a gran escala. Esto se basa en el aislamiento de genes que codifican proteínas con uso terapéutico potencial y en su posterior clonación y expresión en células. La insulina, la hormona de crecimiento humana, los interferones y la eritropoyetina son ejemplos de drogas producidas por ingeniería genética de ADN recombinante (figura 23).

Otro campo de aplicación de la ingeniería genética está en la determinación de la paternidad, a partir de la comparación de secuencias de bases de padre e hijo.

Finalmente, la introducción de segmentos de ADN provenientes de una especie dadora, en genomas de otros organismos da lugar a los llamados organismos **transgénicos**. Los genes insertados pueden cumplir diversas funciones, como acelerar el crecimiento, proteger contra patógenos o inducir resistencia a condiciones ambientales extremas (heladas, sequías, etc.), entre otras.

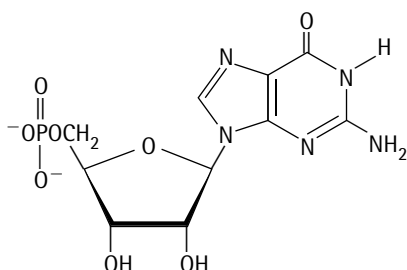
EJERCICIO

Averigua sobre la polémica referente a cultivos transgénicos. ¿Cuáles son los riesgos?, ¿cuáles son las ventajas logradas a través de esta manipulación genética?



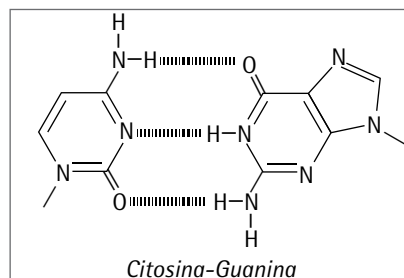
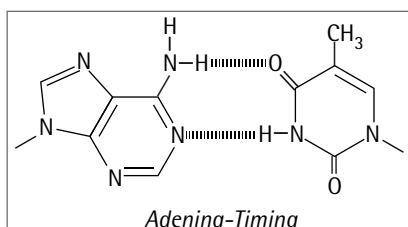
Interpreta

- 1 Establece las diferencias entre:
 - a) Fenotipo y genotipo
 - b) Enfermedades dominantes y recesivas
 - c) Célula germinal y célula somática
 - d) Radiaciones ionizantes y no ionizantes
 - e) Cadena de información y cadena patrón
 - f) Traducción y transcripción
- 2 Responde: ¿De qué forma los ácidos nucleicos transmiten la información genética de una generación a otra?
- 3 Construye un cuadro comparativo en el cual establezcas claramente las diferencias entre las moléculas de ADN y las de ARN.
- 4 Observa la estructura que corresponde a un fragmento de ARN:



Explica:

- a) A diferencia de lo que ocurre en el ADN, en el ARN las proporciones adenina-uracilo y guanina-citosina no son necesariamente iguales. ¿Por qué?
 - b) ¿En qué se diferencian la adenina, el uracilo y la citosina?
- 5 Con la ayuda del código genético, escribe la secuencia de aminoácidos para los siguientes códigos de ARN mensajero:
 - a) 5' UUU CAG ACC GCA GGG AAA GGC 3'.
 - b) 3' ACU GGC CGA UUC AAU CGU GCC 5'.
 - 6 Observa los siguientes enlaces:



Responde:

- a) ¿Qué sucede si se rompen los puentes de hidrógeno?
- b) ¿Cuál de los dos enlaces es más fuerte? ¿Por qué?
- c) ¿Por medio de qué procedimientos se pueden romper los puentes de hidrógeno?



Argumenta

- 7 En febrero de 1997 se hizo pública la noticia sobre la clonación del primer mamífero adulto: una oveja a la que bautizaron con el nombre de Dolly. Los genetistas del Instituto Roslin de Edimburgo de PPL Therapeutics, para llevar a cabo esta clonación, emplearon una técnica de ingeniería genética conocida como transferencia nuclear.
 - a) Explica con tus propias palabras qué es la clonación.
 - b) Señala en qué consiste la técnica empleada de transferencia nuclear.



Propone

- 8 La estructura del genoma humano explica el ordenamiento y la ubicación de los genes en el ADN, contenido en los cromosomas. Los genes representan menos de 3% del ADN del ser humano y cumplen con la síntesis de proteínas. La decodificación del genoma ha servido para determinar las bases moleculares de la vida y del comportamiento, y ha contribuido a una nueva forma de manipulación de los genes en el campo de la ingeniería genética. Responde:
 - a) La ingeniería genética permite la inserción de material genético de un organismo en el núcleo de otro. ¿Cuáles son las consecuencias de este procedimiento?
 - b) ¿Cuál ha sido la contribución de la biología molecular al campo de la medicina?
 - c) ¿Cuáles son los riesgos de la utilización de cultivos transgénicos?



Figura 24. Los alimentos de origen vegetal son una fuente importante de vitaminas para el ser humano.

2. Vitaminas y hormonas

En este tema exploraremos dos tipos de compuestos de interés bioquímico, los cuales, a pesar de actuar a muy bajas concentraciones, desempeñan funciones vitales, como el control del crecimiento, del ciclo menstrual o de la obtención de energía a partir de la glucosa.

2.1 Vitaminas

Las vitaminas son nutrientes orgánicos que se requieren en cantidades pequeñas y que desempeñan diversas funciones bioquímicas. Las vitaminas no pueden ser sintetizadas por el organismo y por lo tanto deben suministrarse a través de los alimentos. Son indispensables para la regulación, mantenimiento y reproducción normal de un organismo.

Por lo general los requerimientos de vitaminas están en el orden de miligramos hasta microgramos.

El carácter vitamínico de un compuesto se define por el hecho de ser indispensable para la vida de un organismo dado y porque este debe obtener dicho compuesto de la dieta, pues carece de la maquinaria enzimática para sintetizarlo por sí mismo (figura 24).

Por ejemplo, la tiamina, la riboflavina y otras vitaminas del llamado complejo B, se clasifican como vitaminas porque son necesarias para la nutrición humana. Sin embargo, estas sustancias son fabricadas por las plantas y como hormonas vegetales, no como vitaminas. Otro ejemplo se encuentra en el ácido ascórbico, o vitamina C, la cual no puede ser sintetizada por mamíferos como el hombre o el cobayo, pues estos carecen de la enzima que convierte la gulonolactona en ácido ascórbico. En cambio, las ratas al poseer esta enzima, pueden sintetizar el ácido ascórbico en sus tejidos y por lo tanto esta sustancia no es una vitamina para la especie.

En general en todas las vitaminas se altera su composición química por acción del calor, la luz, agentes oxidantes y por contacto con ciertos metales.

2.1.1 Clasificación

En el hombre, se conocen trece tipos de vitaminas, que se dividen en dos grandes categorías: las **solubles en grasa o liposolubles** y las **solubles en agua o hidrosolubles**. Dentro de las liposolubles se encuentran las vitaminas A, D, E y K. Ejemplos de vitaminas hidrosolubles son las del complejo B y la vitamina C. A nivel metabólico, los dos grupos de vitaminas se diferencian porque las liposolubles se pueden almacenar en algunos tejidos del cuerpo, por lo que no es necesario consumirlas a diario. Por el contrario, cuando las vitaminas hidrosolubles se encuentran en exceso en el cuerpo son eliminadas a través de la orina y el sudor, sin posibilidad de ser almacenadas, por lo tanto deben ingerirse diariamente.

EJERCICIO

Teniendo en cuenta que las vitaminas pierden su funcionalidad con el calor, analiza qué alimentos de los que consumes habitualmente podrían ser fuente de vitaminas y cuáles no.



2.1.2 Funciones

Cada una de las vitaminas que se conocen desempeña funciones específicas en el cuerpo.

La vitamina A por ejemplo, es fundamental para la visión nocturna y para la resistencia a las infecciones; las vitaminas del complejo B, especialmente la B₁, B₂ y B₃, intervienen en la liberación de energía a partir de los azúcares, las grasas y las proteínas; las vitaminas B₉ y B₁₂ se necesitan para la normal maduración de los glóbulos rojos: la vitamina D ayuda a la absorción del calcio y el fósforo; la formación del colágeno, una proteína del tejido conjuntivo, requiere de la vitamina C; por su parte la vitamina E contribuye en la conservación de los sobrantes de las vitaminas A y C; la coagulación de la sangre depende de la acción de la vitamina K. Es pues, este, el resumen de lo que a continuación se desarrollará (figura 25).

2.1.3 Principales vitaminas

Vitamina A

Es un derivado del β -caroteno, el cual se conoce como la provitamina de esta vitamina. En los tejidos, principalmente en el hígado, se realiza la transformación enzimática del β -caroteno en vitamina A.

Su fórmula fue establecida por Karrer en 1940. En cuanto a su aspecto externo se presenta en forma de cristales amarillos. Tiene un punto de fusión que oscila entre 58 °C y 60 °C y se encuentra solamente en los animales, especialmente en los aceites de hígado de pescado, la leche, la mantequilla y la yema de huevo. Muchos vegetales contienen diversas provitaminas, como carotenos y xantofila. El contenido de vitamina A en los alimentos incluye la vitamina y sus provitaminas. Se encuentran en los vegetales en proporción directa con su pigmentación, en la lechuga, la col, la zanahoria, la batata, los plátanos, los tomates y las cerezas (figura 26).

El principal síntoma de deficiencia es la dificultad del ojo para adaptarse a la oscuridad, patología conocida como **ceguera nocturna**, producida por la falta de **rodopsina**, pigmento fotosensible de la retina que se fabrica a partir de vitamina A. También se puede desarrollar una afección llamada **xeroftalmía**, consistente en sequedad y rugosidad excesiva en la córnea y falta de brillo de la conjuntiva. Otros síntomas son sequedad en la piel y mucosas y la pérdida del esmalte dental, con lo cual, la dentina queda expuesta, dando a los dientes un aspecto semejante a la tiza. Finalmente, la deficiencia de esta vitamina afecta la capacidad para resistir infecciones y el desarrollo del sistema óseo, de tal suerte que en los niños se detiene el crecimiento del esqueleto.

Por lo anterior, la vitamina A se conoce como vitamina antiinfecciosa y protectora de los epitelios.

	Vitaminas	Fuente principal	Dosis (mg/día)
Liposolubles	B ₁ , tiamina	Leche, leguminosas y cereales.	1,5
	B ₂ , riboflavina	Leche, carne roja y pescado.	1,7
	B ₃ , niacina	Carne roja, hígado y café.	19,0
	B ₆ , piridoxina	Hígado, huevos, leche y legumbres.	2,0
	B ₉ , ácido fólico	Hígado, pan integral y verduras verdes.	0,4
	B ₁₂ , cobalamina	Hígado, carnes y huevos.	0,005
Hidrosolubles	C, ácido ascórbico	Frutas cítricas y tomates.	60,0
	A, retinol	Pescado, hígado y huevos; también en la zanahoria hay sustancias precursoras.	1,0
	D, calciferol	Aceite de hígado de bacalao.	0,01
	E, tocoferol	Verduras verdes, yema de huevo y carnes.	10,0
	K, filoquinona	Espinacas.	0,07

Figura 25. Algunas vitaminas, las fuentes principales de donde se obtienen y sus requerimientos para el hombre.



Figura 26. Las cerezas y en general las frutas y hortalizas pigmentadas son fuentes importantes de vitamina A.

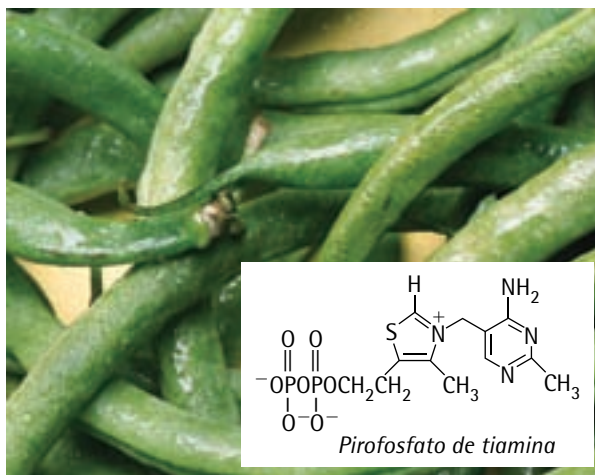


Figura 27. Las leguminosas son fuente de vitamina B₁.

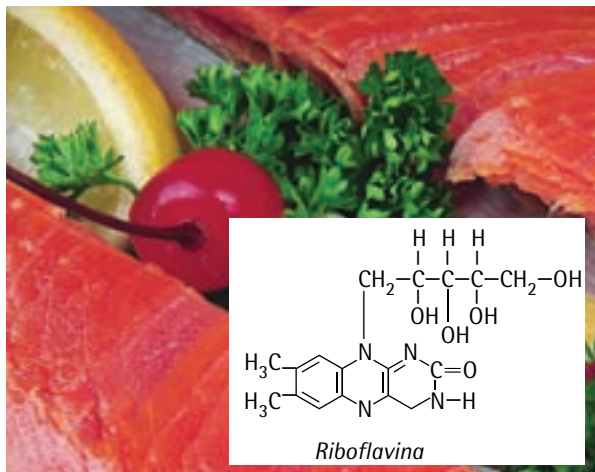


Figura 28. El pescado contiene cantidades importantes de vitamina B₂.

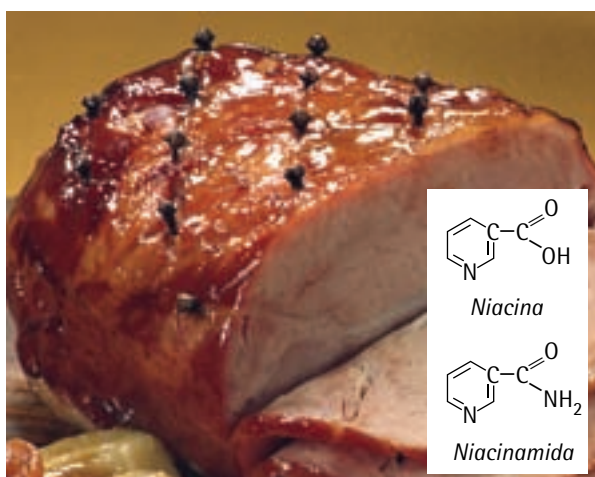


Figura 29. Las carnes rojas, el hígado y el café son buenas fuentes de vitaminas del complejo B, y especialmente de niacina.

Vitaminas del complejo B

- **B₁**: conocida también como **tiamina**, **aneurina** o **factor antineurítico**, se encuentra en la levadura, el hígado y muchos cereales y leguminosas. El principal síntoma de deficiencia es el desarrollo de un enfermedad llamada beriberi consistente en una polineuritis o afección generalizada de los nervios. Esta dolencia se manifiesta en forma de atrofia muscular de las piernas, hinchazón en las rodillas y tobillos, debilidad extrema, parálisis, anemia y dolores neurálgicos. Por lo anterior, la vitamina B₁ se conoce también como vitamina **antiberibérica**. En casos de deficiencia leve hay falta de apetito y estreñimiento. También puede ocurrir descenso del ritmo cardíaco y por lo tanto de la presión arterial, afectándose así el flujo de oxígeno a las células. Se destruye por el calor tanto más fácilmente cuanto más elevado es el pH del medio (figura 27).
- **B₂** o **riboflavina**: a diferencia de la tiamina es estable al calor. Su principal función se relaciona con el crecimiento. Su deficiencia en la dieta no sólo retarda el crecimiento sino que provoca enfermedades en la boca, como quilosis o queilitis angular. Se puede producir también inflamación en los ojos, cataratas e hipersensibilidad a la luz, con lo cual hay una reducción considerable de la visión. Por otro lado, se ha relacionado con el envejecimiento prematuro, debido probablemente a un mal funcionamiento celular. Finalmente, la riboflavina favorece la curación de la **anemia perniciosa** (figura 28).
- **Niacina** o **ácido nicotínico**: se encuentra en todas las células vivas, en el hígado, la levadura, las carnes magras, las habas, los guisantes, la soja y el germen de trigo. El principal síntoma de deficiencia es el desarrollo de **pelagra**, una enfermedad que se caracteriza por lesiones de la piel parecidas a quemaduras. Inicialmente aparecen ampollas, después la piel se vuelve áspera y oscura, y se forman escamas que más tarde se desprenden. La levadura de cerveza seca es tal vez la fuente más rica de niacina. Contiene alrededor de 10 a 25 mg. También el hígado de ternera, contiene una alta concentración de vitamina, alrededor de 20 mg por cada 100 gramos (figura 29).
- **B₅** o **ácido pantoténico**: es un aceite viscoso, muy higroscópico e inestable que se destruye fácilmente por el calor, los ácidos y las bases. Es una sustancia que se halla universalmente distribuida en todas las células vivas. De ahí su nombre, de *pantos*, raíz griega que significa *de todas partes*. Las fuentes más ricas de ácido pantoténico son el hígado, la levadura de cerveza y el extracto de afrecho de arroz. Se encuentran también cantidades apreciables en la yema de huevo, el maní, la soja y el germen de trigo.

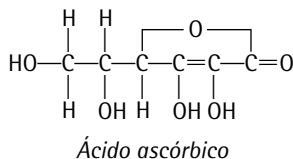


Figura 32. Los cítricos son fuentes ricas en vitamina C.

Vitamina C o ácido ascórbico

Se conoce también como **vitamina antiescorbútica**, pues el escorbuto es la patología asociada con su deficiencia. El escorbuto se caracteriza por debilidad general, anemia, depresión nerviosa y un tinte amarillento en la piel. Además se observan lesiones en las encías, los dientes se aflojan y caen. Hay tumefacciones en las articulaciones, que se tornan sensibles e hinchadas. Se producen hemorragias bajo la piel, haciendo aparecer manchas negras y azules, especialmente donde la ropa aprieta. Los huesos pierden mucho calcio y se vuelven quebradizos.

El ácido ascórbico es un producto blanco y cristalino que se puede obtener en forma pura. Es soluble en agua y en alcohol, pero insoluble en aceites, cloroformo y éter.

Son muchas las razones por las cuales el organismo necesita pequeñas cantidades de ácido ascórbico. En primer lugar, resulta esencial para mantener sano el tejido conjuntivo. Este tejido se halla presente en todos los demás tejidos y constituye el principal componente de los cartílagos, los ligamentos, las paredes arteriales, venas y capilares, y es un material básico de los huesos y los dientes.

El papel de la vitamina C se comprende mejor cuando se recuerda el de la vitamina A en las células de la piel, las mucosas y el esmalte de los dientes. La vitamina A provee algo que las células epiteliales necesitan en su interior para cumplir su función. La vitamina C, por su parte, provee algo esencial para el buen funcionamiento de las sustancias intercelulares y esto no solo se aplica a las células epiteliales sino a todas las células del organismo.

Se emplea en la curación de heridas y fracturas, como diurético y como antioxidante para la conservación de alimentos.

El ácido ascórbico se encuentra muy difundido en los vegetales. Se encuentra en los pimientos, frutos cítricos, tomates y coles. Las carnes y los huevos contienen muy poco ácido ascórbico.

El ácido ascórbico no se almacena sino que se elimina constantemente por la orina y tiene que ser suministrado diariamente al organismo a través de la alimentación.

Como la vitamina A y la B₁, el ácido ascórbico se oxida fácilmente. Por esta razón, el jugo de naranja preparado de un día para otro, pierde su valor como suministro de vitamina C. También se destruye por acción de sustancias alcalinas, el calentamiento prolongado y la cocción en instrumentos de cobre (figura 32).

Vitamina D: esteroides

La vitamina D guarda estrecha relación estructural con los esteroides, que son alcoholes secundarios derivados del ciclopentanofenantreno parcialmente hidrogenado. El esteroide más común es el colesterol o colesteroína que se encuentra en la bilis, en la yema de huevo y en el tejido nervioso.

El término vitamina D se aplica a sustancias del grupo de los esteroides que tienen propiedades antirraquíticas.

EJERCICIO

¿Por qué se dice que los buenos suministros diarios de vitamina C nos protege contra las infecciones?



Se llama **raquitismo** la condición de los niños en los cuales los huesos no se desarrollan normalmente. El crecimiento no es adecuado y la persona no alcanza la estatura que debiera tener. También se observan algunas deformaciones más o menos pronunciadas.

Sin embargo, no hace muchos años, se descubrió que el aceite de hígado de bacalao contenía una sustancia que prevenía o mejoraba considerablemente los cuadros de raquitismo. Esta sustancia es la vitamina D cuya función principal en el organismo consiste en favorecer la fijación y asimilación del calcio y el fósforo en los huesos. Se sabe que los huesos y dientes contienen una elevada proporción de calcio y de fósforo y que se deben obtener estos minerales de los alimentos de la dieta, pero no solo es necesario proveer estos elementos sino que se debe asegurar que el calcio y el fósforo lleguen hasta los huesos y dientes y se fijen a ellos. Se necesita una sustancia que sirva de eslabón entre el calcio y el fósforo que llegan del exterior y el calcio y el fósforo que ya existen en los huesos y dientes. Esta sustancia es la vitamina D (figura 33).

Solamente dos tienen verdadera importancia; la vitamina D₂ o ergosterol activado y la vitamina D₃ o 7-dehidrocolesterol activado. Los esteroides activados se conocen como provitaminas D.

La vitamina D₂ es ópticamente dextrógira. Se obtiene por irradiación del ergosterol. No existe en la naturaleza, pero sí en la leche de vacas alimentadas con levadura irradiada.

Desempeña un papel importante en la formación de los dientes. Se emplea en el tratamiento del raquitismo infantil, así como en la osteomalacia, la artritis crónica, la osteoporosis y el síndrome menopáusico.

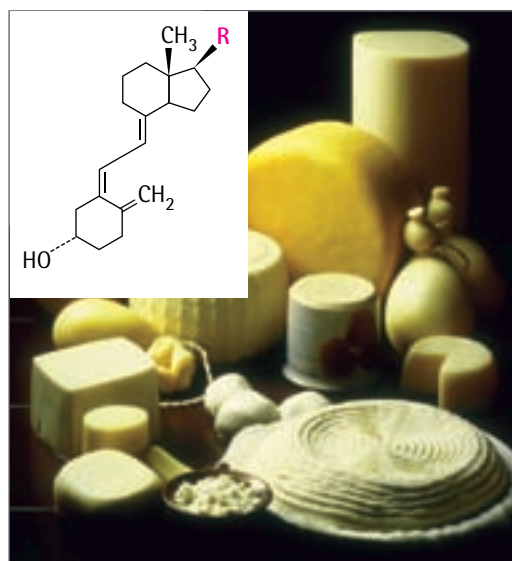
Vitamina E o α tocoferol

Se reconoce con el nombre de vitamina antiesterilidad. Como fue descubierta hace pocos años, podría decirse que es la más joven de las vitaminas y la que ha causado más inquietud en el campo médico. Es muy estable y se destruye únicamente por la acción de oxidantes.

Experimentalmente se ha demostrado que su ausencia en la dieta de los ratones provoca esterilidad por destrucción de las células germinales en los machos y reabsorción de los fetos en las hembras.

Estudios recientes han demostrado que la vitamina E reacciona con los radicales libres del organismo neutralizándolos, de lo contrario se podría llegar a la destrucción total de los componentes celulares del cuerpo. La vitamina E también protege a los recién nacidos del exceso de oxígeno y de hierro. Así mismo, se ha afirmado que la vitamina E puede protegernos del ozono, del nitrógeno y del dióxido de carbono de la atmósfera, así como del plomo y del mercurio que envenenan el ambiente. Además de actuar como protector del cuerpo, la vitamina E parece impedir la formación de coágulos que bloquean las arterias.

La vitamina E es muy abundante en los aceites vegetales, los frijoles, los huevos, los granos integrales y algunas frutas y vegetales.



$R = \text{CH}(\text{CH}_3)(\text{CH}_2)\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ en el colecalciferol
 $R = \text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}=\text{CHCH}(\text{CH}_3)\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ en el ergocalciferol

Figura 33. Los productos lácteos, como el queso, son fuente de vitamina D.



Figura 34. Verduras como el tomate y el pepino cohombro contienen altas concentraciones de vitamina K.

Vitamina K o vitamina antihemorrágica

Es un aceite viscoso, amarillo, insoluble en agua y soluble en solventes orgánicos. Se prepara a partir del 2-metil naftaleno. Cristaliza en forma de agujas de color amarillo claro. Se altera por acción de la luz. Cuando se administra por vía oral se acompaña de sales biliares, para prevenir una posible absorción deficiente por obstrucción biliar completa o de fístula.

La vitamina K se emplea especialmente por su acción antihemorrágica, debido a que por un mecanismo todavía no bien definido, eleva la proporción de protrombina en la sangre, factor que da lugar a la producción de la trombina, con la ayuda de la tromboplastina y de iones calcio (Ca^{2+}) reacción que da lugar a la transformación del fibrinógeno en fibrina, en el fenómeno de la **coagulación**.

Otra aplicación de la vitamina K es la corrección de los efectos causados por el dicumarol empleado como anticoagulante en los casos de trombosis.

La vitamina K es relativamente abundante en los alimentos, pero las hojas verdes y especialmente las de alfalfa, espinaca, coles y zanahoria, son las fuentes más ricas. La vitamina K no es afectada por el calor ni por el oxígeno, de manera que por cuanto a ella se refiere, las verduras pueden ser consumidas crudas o cocidas (figura 34).

2.2 Hormonas

2.2.1 Generalidades

El sistema endocrino, como el sistema nervioso, ajusta y correlaciona las actividades de varios sistemas orgánicos poniéndolos en condiciones adecuadas para hacer frente a las demandas cambiantes de los medios interno y externo.

Esta integración se realiza mediante la secreción de hormonas agentes químicos producidos por las glándulas de secreción interna, que se vierten a la circulación para regular los procesos metabólicos de las diferentes células.

Las hormonas son sustancias orgánicas producidas en pequeñísimas cantidades por células específicas. Son secretadas directamente al torrente circulatorio y luego se desplazan a otras partes del cuerpo para producir efectos biológicos.

2.2.2 Funciones endocrinas

Si recordamos rápidamente los conceptos de biología referentes a los sistemas de secreción, encontramos que además de las glándulas de secreción externa que, como las digestivas, vierten al exterior su producto de elaboración, existen otras glándulas de secreción interna o endocrinas cuyo producto —las hormonas— es vertido directamente al torrente circulatorio y viajan a través de él hasta el sitio donde ejercen su acción.

Las glándulas endocrinas, en combinación con el sistema nervioso y más específicamente con el sistema neurovegetativo, aseguran la regulación y correlación de las diferentes funciones del cuerpo humano.

EJERCICIO

Consulta sobre el mecanismo de la coagulación sanguínea y señala la etapa de dicho mecanismo en la cual interviene la vitamina K.



Sus principales acciones pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Tienen una acción morfogénica, y condicionan el crecimiento óseo y la aparición de los caracteres sexuales secundarios.
- Actúan sobre el metabolismo del agua, de los azúcares, de las grasas, de las proteínas y de las sustancias minerales.
- Están íntimamente relacionadas con el funcionamiento nervioso: sistema cerebroespinal y vegetativo, vida instintivoafectiva, psiquismo y temperamento.
- Mantienen entre sí relaciones estrechas, por tanto, la actividad de cada una de ellas siempre depende de la actividad de otra u otras.
- Ejercen una acción determinante en las funciones de reproducción.

Todas las hormonas y, desde luego, las glándulas que las segregan, son necesarias para el funcionamiento normal del organismo. Una deficiencia o una hipersecreción de cualquiera de ellas, provoca un estado patológico característico. Estas afecciones se denominan con frecuencia, **enfermedades funcionales**, para distinguirlas de las **enfermedades por carencia** producidas por la falta de vitaminas, y de las infecciones causadas por la presencia de algún agente infeccioso como las bacterias.

2.2.3 Glándulas de secreción interna

Hipófisis o glándula pituitaria

Es un órgano complejo que se encuentra suspendido en la base del cerebro reposando sobre una pequeña concavidad del hueso esfenoides, llamada “silla turca”. Su funcionamiento es regulado por el hipotálamo, que hace parte del encéfalo y está compuesto por células neurosecretoras.

Está conformada por tres lóbulos: anterior, medio y posterior.

- El **lóbulo anterior** produce la hormona del crecimiento o STH (hormona somatotropina) y diversas hormonas que actúan sobre los órganos genitales (hormonas gonadotropas); sobre el ovario de la mujer (hormona foliculoestimulante) o FSH, la hormona luteinizante o LH y sobre los testículos del hombre. También produce la hormona corticotropa o ACTH (hormona adrecorticotropica) que tiene como función estimular las secreciones de la parte superficial de la corteza de las glándulas suprarrenales y desempeña en el organismo una labor de defensa. Otras hormonas producidas en esta zona de la hipófisis son: la hormona **tiroidea** que regula el metabolismo de la glándula tiroides, y la **prolactina** (LTH) que actúa sobre las glándulas mamarias, provocando o manteniendo la secreción láctea (figura 35).

La hipófisis anterior, igualmente segrega hormonas que actúan sobre el metabolismo de los carbohidratos, las grasas y las sustancias de naturaleza proteica y es punto de enlace entre el medio exterior y el interior, y es órgano rector del sistema endocrino.

- El **lóbulo medio** tiene una función muy reducida y todavía no se conoce bien.

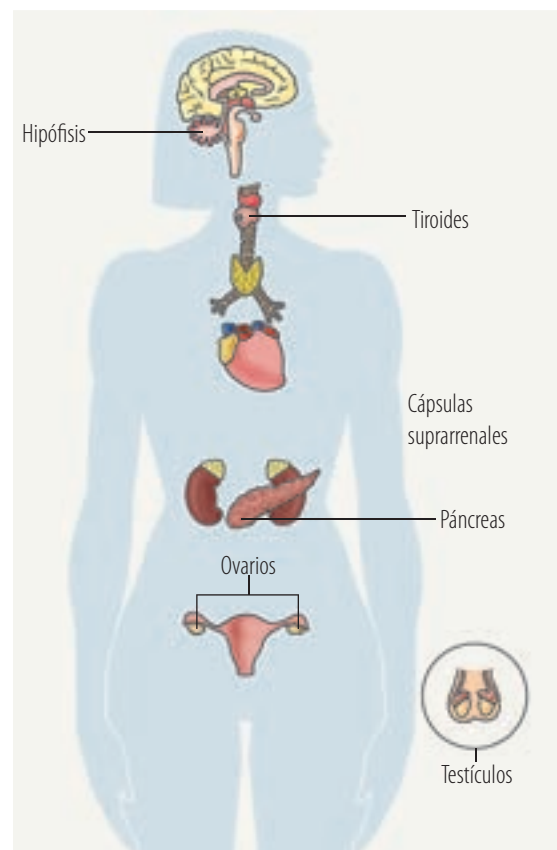


Figura 35. La ilustración muestra la ubicación anatómica de las distintas glándulas de secreción interna.



Figura 36. Las hormonas tiroideas influyen en el crecimiento de muchos otros animales, entre ellos las ranas, en las cuales regulan la metamorfosis.

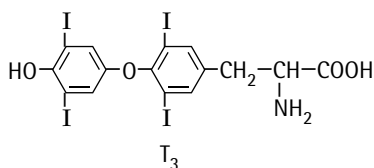
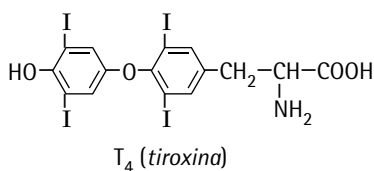
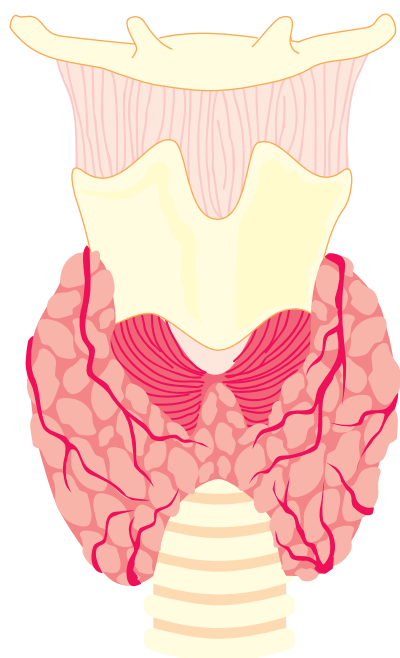


Figura 37. Glándula tiroides y paratiroides.

- El **lóbulo posterior** o **neurohipófisis**, se asemeja más al tejido nervioso al cual debe su origen, que a los tejidos de tipo endocrino, y está íntimamente relacionado con el hipotálamo.

El lóbulo posterior y sus secreciones desempeñan un papel esencial en la regulación del agua en el organismo, a través de la liberación de la hormona **antidiurética**. Actúa sobre el aparato circulatorio provocando vasoconstricción por acción de la vasopresina y la pitresina. Por medio de la oxitocina, ejerce una acción estimulante sobre el útero, cuyo tono y contracciones aumenta.

Tiroides

Las hormonas tiroideas regulan la expresión génica, la diferenciación tisular y el desarrollo general (figura 36).

Esta glándula se encuentra situada delante de la laringe y de la tráquea y consta de dos lóbulos unidos por un istmo intermedio. La glándula tiroides produce dos hormonas yodoaminoácidas: 3,5,3'-triyodotironina (T_3) y 3,5,3',5'-tetrayodotironina (T_4 o tiroxina), cuya importancia en la regulación del metabolismo general, el desarrollo y diferenciación tisular se ha reconocido desde hace tiempo. Las hormonas tiroideas requieren del yodo, un oligoelemento, para realizar sus actividades biológicas.

La **tiroxina** presenta numerosas funciones. Así por ejemplo, influye en el desarrollo óseo y muscular, cutáneo y genital y en todos los metabolismos, en los que actúa esencialmente como catalizador de los procesos de oxidación. Produce también una acción activadora directa sobre el sistema simpático y especialmente sobre el sistema nervioso central.

El **hipotiroidismo** intrauterino o neonatal conduce al **cretinismo**, cuadro que se caracteriza por defectos congénitos múltiples y retraso mental grave e irreversible.

Paratiroides

Las paratiroides son glándulas muy pequeñas ubicadas una a cada lado de la glándula tiroides (figura 37). La hormona producida por estas glándulas se llama **paratiroidina** y actúa sobre el metabolismo del calcio, regulando la actividad de las células constructoras (osteoblastos) y destructoras (osteoclastos).

El ion calcio regula un número determinado de procesos fisiológicos y bioquímicos importantes. Entre estos podemos mencionar, la excitabilidad neuromuscular, la coagulación sanguínea, los procesos secretorios, la integridad de las membranas y el transporte en la membrana plasmática; las reacciones enzimáticas, la liberación de hormonas y neurotransmisores y la acción intracelular de algunas hormonas.

Las cantidades insuficientes de hormona paratiroidea, producen el **hipoparatiroidismo**. Este cuadro se caracteriza por la disminución del calcio iónico en el suero y aumento en la concentración de fosfato. Los síntomas leves de esta condición incluyen irritabilidad neuromuscular, la cual puede causar calambres musculares y **tetania**.

1. ¿Qué es el bocio?
2. ¿Qué es un agente diurético?, ¿y uno antidiurético?



Cuando el cuadro es agudo se produce parálisis tetánica de los músculos respiratorios, laringoespasmo, convulsiones graves y finalmente la muerte. Al contrario, cuando se presenta excesiva producción de la hormona, se presenta el **hiperparatiroidismo**. Este cuadro se caracteriza por resorción extensa del hueso y diversos efectos renales, como cálculos renales e infecciones frecuentes de las vías urinarias.

Páncreas

El páncreas es una glándula de secreción mixta, es decir, posee una doble función. Por un lado, es una glándula de secreción externa que libera secreciones en el duodeno para ayudar a la digestión y absorción de péptidos y grasas. Por otro lado, como glándula de secreción interna, vierte directamente al torrente circulatorio una serie de hormonas, como **insulina** y **glucagón**, relacionadas con la regulación de los niveles de azúcar circulantes. Cuando se presenta una insuficiencia en las secreciones internas de esta glándula se produce la diabetes. La insulina y el glucagón tienen funciones opuestas. Cuando la concentración de glucosa en la sangre se eleva, se libera insulina, para promover la síntesis de glucógeno y así disminuir el nivel de azúcar sanguínea (figura 38).

Por el contrario, cuando hay poca glucosa circulante, se libera glucagón, para catalizar la degradación del glucógeno almacenado en el hígado y así liberar glucosa a la sangre.

Glándulas suprarrenales

Son glándulas pequeñas situadas sobre la parte superior de cada riñón. En cada glándula suprarrenal se diferencian dos partes, una periférica o **corteza suprarrenal**, y otra central o **médula suprarrenal**, cada una de las cuales tiene un origen embriológico diferente.

- **Corteza suprarrenal:** secreta alrededor de unas 26 hormonas **esteroideas**, que se clasifican en tres grupos: **glucocorticoides**, **mineralocorticoides** y **andrógenos**. Los glucocorticoides comprenden la **corticoesterona** y la **deshidrocorticoesterona**, cuya función se ejerce sobre el metabolismo de los carbohidratos y la **cortisona**, con acción antirreumática. Los **mineralocorticoides** son dos: el acetato de desoxicorticoesterona y la desoxicortisona. Actúan sobre el equilibrio hidromineral de los tejidos. Los **andrógenos** se relacionan con el desarrollo de características sexuales secundarias.
- **Médula suprarrenal:** segrega dos hormonas: la **adrenalina** y la **noradrenalina**.

La adrenalina se segrega como reflejo a estímulos como frío, emociones fuertes o miedo. Activa el trabajo del corazón, produce vasoconstricción de las arterias y los capilares, eleva temporalmente la presión arterial y acentúa la resistencia de los capilares. Dilata los bronquios y eleva la glicemia.

La adrenalina, noradrenalina y dopamina son los elementos principales en la respuesta a la tensión intensa. Esta respuesta comprende un ajuste integrado e inmediato de numerosos procesos complejos en los órganos vitales para la respuesta, a saber, cerebro, músculos, sistema cardiopulmonar e hígado a expensas de otros órganos que no intervienen de inmediato como la piel, sistema gastrointestinal y tejido linfático.



Figura 38. La diabetes es producida por la carencia o producción deficiente de insulina y se compensa mediante la inyección diaria de esta hormona.



Figura 39. Las glándulas sexuales producen sustancias hormonales que estimulan la aparición de los caracteres sexuales secundarios.



Figura 40. La producción de hormonas gonadotropinas es muy importante durante el embarazo y la lactancia.

Gónadas

Las gónadas son órganos bifuncionales que producen células germinales y hormonas sexuales. Las dos funciones se interrelacionan, porque durante el desarrollo de las primeras se requieren altas concentraciones locales de hormonas sexuales. Los ovarios producen óvulos y las hormonas esteroides, estrógeno y progesterona. Por su parte, los testículos producen espermatozoides y testosterona. La producción de estas hormonas está regulada de manera estrecha con un circuito de retroalimentación en el que intervienen la hipófisis y el hipotálamo. Los andrógenos son las hormonas esteroides sexuales de acción masculinizante; los estrógenos por su parte son feminizantes. Ambos tipos de hormonas son secretadas en ambos sexos, pero con diferentes concentraciones (figura 39).

- **Andrógenos:** la testosterona, principal hormona secretada por los testículos, es un esteroide de 19 átomos de carbono. Es sintetizada a partir del colesterol en las células de Leydig. La testosterona y otros andrógenos ejercen un efecto inhibitorio retroactivo sobre la secreción de LH pituitaria; producen y mantienen los caracteres sexuales secundarios masculinos y ejercen un efecto anabólico proteico, importante promotor del crecimiento. En el período previo a la adolescencia, los testículos y la corteza suprarrenal segregan una pequeña cantidad de testosterona. Al poco tiempo, las concentraciones aumentan hasta alcanzar un rango entre 2,5 y 11 mg al día. Esta cantidad es suficiente para provocar grandes cambios en el varón, como el rápido crecimiento y el desarrollo muscular y testicular, engrosamiento de la piel, aumento de la cantidad de glándulas sebáceas en la piel, por lo que esta se hace más oleosa, las venas se observan con mayor claridad bajo la piel, debido a la pérdida de la grasa subcutánea; el vello de las axilas crece y también se desarrolla en el pecho y las extremidades; el crecimiento de la laringe causa ciertas dificultades al hablar y la barba comienza a crecer.
- **Estrógenos:** son secretados por las células de la teca interna de los folículos ováricos, cuerpo lúteo, placenta y, en pequeñas cantidades, por la corteza adrenal y los testículos. Son esteroides, dentro de los cuales, el estradiol es el más potente. Entre las funciones de los estrógenos están: facilitar el crecimiento de los folículos ováricos y aumentar la motricidad de las trompas de Falopio. También tienen efectos importantes sobre el músculo liso del útero. En otro campo, los estrógenos hacen disminuir la secreción de HEF. Cuando están en grandes cantidades, inhiben también la secreción de HL y de prolactina. Los cambios corporales que se presentan en las mujeres en la pubertad, además del crecimiento de los senos, útero y vagina, se deben en parte a los estrógenos, hormonas feminizantes, y en parte a la falta de andrógenos testiculares.

Las acciones secretora y gametogénica de las gónadas dependen de la secreción de las gonadotropinas hipofisarias específicamente de la hormona estimulante del folículo (FSH) y de la hormona luteinizante (LH). Las hormonas sexuales actúan a través del hipotálamo para inhibir la secreción de gonadotropinas. En el hombre, la secreción de gonadotropinas no es cíclica, pero en la mujer pospuberal se necesita una secreción de gonadotropinas en sucesión ordenada para que pueda ocurrir la menstruación, el embarazo y la lactancia (figura 40).

EJERCICIO

Consulta la estructura de la testosterona y el estradiol. Compáralas y encuentra semejanzas y diferencias en la estructura. ¿Tendrá algo que ver la estructura con la función que cumple cada una?



Interpreta

- 1 Las vitaminas se clasifican en dos categorías: las solubles en grasas o liposolubles y las solubles en agua o hidrosolubles. De acuerdo con esta clasificación, completa la tabla:

Vitamina	Hidrosoluble	Liposoluble
K		
E		
D		
C		
B ₂ Riboflabina		
B ₁ Tiamina		
A		
Niacina		
B ₁₂ Cianocobalamina		

- 2 Los alimentos de origen vegetal son una fuente importante de vitaminas para el ser humano. Señala en el siguiente cuadro los alimentos que proveen de las siguientes vitaminas y la función que cumplen en el organismo:

Vitamina	Alimento	Función
B ₁		
A		
D		
K		
C		



Argumenta

- 3 Las vitaminas son compuestos sintetizados por los vegetales y se incorporan directamente con el alimento en el organismo humano. Se requieren en la dieta alimenticia para desempeñar diversas funciones bioquímicas. En general, su composición química se altera por acción del calor, la luz, los agentes oxidantes y por el contacto con ciertos metales. Explica:
- a) ¿Qué funciones cumplen las vitaminas en el organismo?

- b) ¿Qué alimentos de los que consumes habitualmente son fuente de vitaminas?
- c) ¿Por qué razón la única vitamina que puede sintetizar tu cuerpo es la D?
- d) Teniendo en cuenta que las vitaminas pierden sus propiedades por acción del calor y de la luz, ¿qué precauciones debes tener al consumir alimentos ricos en vitaminas?

- 4 Las vitaminas del complejo vitamínico B son sustancias solubles en agua y algunas de ellas son importantes para metabolizar carbohidratos, proteínas y grasas. Intervienen en el crecimiento; además previenen el beriberi, la pelagra y la anemia perniciosa.

- a) ¿Cómo se manifiestan el beriberi y la pelagra?
- b) ¿Qué síntomas presenta una persona que sufre de anemia perniciosa?
- c) ¿Qué síntomas se presentan en el organismo por falta de vitamina B?
- d) ¿Por qué algunas personas ingieren tiamina, para evitar la picadura de insectos?



Propone

- 5 Las vitaminas hidrosolubles son absorbidas con rapidez en la parte inicial del intestino, a excepción de la vitamina B₁₂, pero las liposolubles solo son asimiladas cuando los lípidos ingeridos han sido emulsionados por la bilis.

Discute con tus compañeros:

- a) ¿Qué sucederá con las vitaminas hidrosolubles y liposolubles en una persona que sufre de cálculos en la vesícula?
- b) ¿Tendrá deficiencia vitamínica?
- c) ¿Qué le aconsejarías a esta persona en cuanto a su alimentación?
- 6 En hombres y mujeres se dan procesos naturales en los que se experimentan fuertes cambios hormonales. Estos procesos se conocen como menopausia en las mujeres y andropausia en los hombres. Consulta al respecto y responde:
- a) ¿Qué ocurre a nivel hormonal en esta etapa de la vida?
- b) ¿Cuáles son los principales síntomas?
- c) ¿Qué opinas acerca del uso de terapias hormonales de remplazo?



Figura 41. La salud corresponde a un estado de bienestar físico, mental y social que permite disfrutar plenamente de la vida.

3. Salud, enfermedad y drogas

A través de los tiempos, el hombre ha usado remedios de diversos tipos, porque siempre ha conocido la enfermedad. En la actualidad es tal la oferta de medicamentos, que estos se consumen de manera indiscriminada, sin tener en cuenta que pueden producir efectos secundarios desconocidos. A lo largo de este tema se presentan algunas ideas relacionadas con las dos caras de esta moneda: las drogas, medicina o veneno.

3.1 Generalidades

Por muchos años se han usado medicamentos, principalmente provenientes de plantas y algunos minerales, sobre bases empíricas o de simple observación y en donde se destacan hombres ilustres no sólo de la terapéutica sino también de la medicina como **Hipócrates**, **Galeno** y **Avicena**.

La historia nos informa que la mayor parte de los pueblos antiguos usaron los mismos remedios, sin tener jamás contacto entre ellos. Se puede pensar que este hecho se da por pura casualidad, sin embargo, en la actualidad se postula que el hombre al igual que los animales, cuando está enfermo busca en la naturaleza aquello que puede aliviarlo de sus dolencias. Este instinto primitivo es el vínculo que liga al hombre con la naturaleza. Una vez que encuentra el remedio preciso para la enfermedad que lo aqueja, transmite estos conocimientos a su descendencia de generación en generación. Es por este medio como hemos heredado verdaderos tratados sobre el cuidado de diferentes enfermedades, de pueblos como los egipcios, griegos, romanos, chinos y aztecas.

El concepto de salud que hoy manejamos es mucho más amplio que el de la antigüedad. Esta percepción queda reafirmada por los documentos de la **Organización Mundial de la Salud (OMS)**, según la cual *estar sano implica estar en un estado de salud óptimo, es decir, en un estado de bienestar físico, mental y social*. Por lo tanto, estar sano depende del cuidado que pongamos en nuestra alimentación, recreación y relación con los demás (figura 41).

Cuando estamos enfermos, nuestro organismo nos pone en alerta a través de ciertos signos y síntomas tales como el aumento de la temperatura corporal, la disminución de la presión arterial o de la capacidad para realizar nuestro trabajo diario. Estos cambios por lo general son consecuencia de cambios químicos que suceden al interior de nuestras células. Efectivamente, el concepto de enfermedad como una alteración química del organismo ya había sido planteada por **Paracelso**, hacia 1530; hoy es posible probar que, efectivamente, todo enfermo presenta algún tipo de alteración química.

3.2 Bases bioquímicas de las enfermedades

La salud depende del funcionamiento regulado y armonioso de miles de reacciones y procesos bioquímicos que ocurren en las células normales y que operan para mantener constante —o dentro de ciertos límites— el pH, la presión osmótica, la concentración de electrolitos en el suero y los tejidos, etc.

EJERCICIO

1. Elabora una lista con los signos y síntomas que puedan indicar que una persona está enferma.
2. ¿Crees que los diferentes estados de ánimo pueden causar o aliviar enfermedades? Explica tu respuesta.



Las enfermedades se relacionan con alteraciones metabólicas, por ejemplo, durante la replicación, transcripción y traducción de la información genética o durante una reacción química específica. Estas perturbaciones, temporales o permanentes se inducen por diferentes causas las cuales a menudo conducen a alteraciones profundas del medio interno en donde los mecanismos compensatorios sólo pueden operar por un límite finito de tiempo (figura 42).

Al considerar las enfermedades desde el punto de vista bioquímico se debe tener en cuenta que:

- Numerosas enfermedades son determinadas por genes. Desde este punto de vista las enfermedades genéticas pueden agruparse en tres clases: trastornos cromosómicos, trastornos monogénicos o de un solo gen y trastornos multifactoriales que son producto de múltiples factores genéticos y ambientales.
- Todas las clases de biomoléculas que constituyen las células se afectan en su estructura, función o cantidad en una u otra enfermedad. Las biomoléculas pueden afectarse de manera primaria o secundaria; en enfermedades genéticas, el defecto primario reside en el ADN y las estructuras, funciones o cantidades de otras biomoléculas se afectan de manera secundaria.
- Las perturbaciones bioquímicas que causan enfermedad ocurren con diferentes velocidades. Así, por ejemplo, la muerte puede sobrevenir rápidamente después de una trombosis coronaria o debido a la pérdida masiva de agua y electrolitos en patologías intestinales, como el cólera, el cual puede terminar con la vida de una persona en unas pocas horas. En otros casos, puede llevar años para que la acumulación de una biomolécula afecte el funcionamiento del organismo. Este exceso puede ocurrir, por ejemplo, como consecuencia de la falta de una enzima responsable de la degradación de dicha molécula.
- Las enfermedades pueden producirse por deficiencia o exceso de ciertas biomoléculas. Así por ejemplo, la deficiencia de vitamina A causa ceguera nocturna. Pero su ingestión excesiva puede causar estados agudo y crónico de toxicidad. En el mismo sentido la deficiencia de vitamina D conduce al raquitismo, pero su exceso, causa hipercalcemia.
- La causa directa o indirecta de cualquier enfermedad está relacionada con alteraciones en el funcionamiento de uno o varios organelos celulares. Por ejemplo, alteraciones en el retículo endoplasmático son responsables de intoxicaciones y los daños en la membrana celular tienen que ver con la metástasis de células cancerosas.
- Mecanismos bioquímicos diferentes pueden producir patologías semejantes. El cuerpo tiene un número limitado de formas de reaccionar a las enfermedad y sus causas, por lo que procesos inflamatorios, inmunológicos, desintoxicantes, entre otros pueden ser consecuencia de diferentes estímulos, por ejemplo, bacterias, virus o macromoléculas aisladas. Así mismo, degeneración de tejidos y órganos, como el hígado, puede deberse a ingestión excesiva de alcohol, exceso de cobre o de hierro, entre otras causas. Igualmente, el oxalato de calcio, fosfato de amonio y magnesio, ácido úrico y cisteína pueden formar cálculos renales, pero se acumulan por razones bioquímicas diferentes.



Figura 42. Si bien el organismo cuenta con una compleja maquinaria inmunológica para combatir enfermedades, las vacunas han sido de gran ayuda para evitar epidemias incontrolables.

EJERCICIO

Elabora una lista de las enfermedades más comunes en tu comunidad y señala las causas más probables de ellas.



Figura 43. Algunas plantas como la caléndula contienen principios activos que poseen un efecto antiinflamatorio y cicatrizante.



Figura 44. La quinina que está presente en la planta de quinaquina es usada para combatir enfermedades tropicales como las fiebres palúdicas.

EJERCICIO

Consulta sobre cinco plantas medicinales y señala los principios activos de dichas plantas. Haz una lista con las indicaciones medicinales de dichos principios activos.

3.3 Desarrollo de fármacos

La base para el desarrollo de la industria farmacéutica está en sintetizar artificialmente los productos naturales, generalmente de origen vegetal.

Un fármaco se define como **cualquier sustancia orgánica o inorgánica, de origen animal, vegetal o mineral que, por sus propiedades físico-químicas, tiene un efecto directo o indirecto sobre la funcionalidad de células, tejidos y órganos del cuerpo.**

Los fármacos actúan, principalmente, modificando la función hiper o hipoactiva de los órganos, es decir, corrigiendo las alteraciones químicas o biológicas que se producen en ellos.

Una vez que se establece y localiza la acción específica de un fármaco o principio activo y se estudian los eventuales riesgos que pudiera ocasionar en el organismo, los químicos farmacéuticos pueden revelar su valor en el tratamiento de enfermedades. Por esta razón la farmacología se considera una rama de las ciencias médicas; además de su naturaleza química, estudia la acción fisiológica de los medicamentos: esto es, cómo se absorben, distribuyen y metabolizan.

3.3.1 En busca del principio activo

La existencia de plantas con propiedades medicinales motivó que los investigadores se abocaran a identificar cuáles de las sustancias que contenían eran capaces de curar enfermedades; a dichas sustancias los investigadores las denominan **principios activos** (figura 43).

Se sabe por ejemplo, que desde el siglo XVIII los hombres de ciencia intentaban aislar el principio activo de la corteza de la quinaquina; en 1820, Pierre Pelletier (1788–1842) logró aislarla, llamándola **quinina**. El producto era demasiado caro y quedaba lejos del alcance de mucha gente; por esto, la Sociedad Francesa de Farmacia ofreció un premio de 4.000 francos para el químico que lograra sintetizar la quinina en grandes cantidades (figura 44).

3.3.2 Fármacos sintéticos

El trabajo conjunto entre la química y la fisiología, ha permitido lograr avances significativos en el estudio de diferentes fármacos de origen mineral, animal o vegetal.

Hacia el año 1870 se realizaron las primeras experiencias sobre los efectos de la nicotina y el tabaco en el funcionamiento del corazón y los de la cafeína en la acción muscular. Estas experiencias señalaron el camino para la síntesis de nuevos fármacos.

Más tarde, en el año 1857, se descubrió que el nitrito de amilo tenía propiedades vasodilatadoras de las arterias coronarias, por lo que permitía disminuir el intenso dolor en el pecho que sienten los enfermos del corazón. Dos años después se introdujo en el mercado el hidrato de cloral, que produce sueño profundo y es considerado el primer anestésico e hipnótico sintetizado artificialmente en un laboratorio.

A comienzos del año 1900, se empezaron a producir los **barbitúricos**, con propiedades hipnóticas y antiepilépticas. Por la misma época se desarrolló el ácido acetilsalicílico, conocido comúnmente como **aspirina**, cuyas propiedades analgésicas son ampliamente reconocidas.



3.3.3 Fármacos anti-microbianos

Con la invención del microscopio, se puso de manifiesto un mundo hasta ahora desconocido, seres microscópicos y células de diversos tipos. Con el desarrollo de colorantes, iniciada por **William Perkin** (1838–1907), comenzó el estudio sistemático de la estructura celular. Al disponer de colorantes específicos fue posible teñir selectivamente ciertas partes de una célula o ciertos microorganismos. **Paul Ehrlich** (1854–1915) pensó que los colorantes representaban una verdadera bala mágica, capaz de aniquilar a los microorganismos patógenos sin dañar el organismo de la persona afectada. En la actualidad, este tipo de compuestos se denominan antibióticos (figura 45). Ehrlich ensayó con algunos colorantes y postuló que la acción germicida de estas sustancias radicaba en sus átomos de nitrógeno unidos a través de enlaces dobles del tipo —N=N— . Para comprobarlo, realizó sucesivas modificaciones en las estructuras de los colorantes, sustituyendo los átomos de N por As debido a que presentaban propiedades similares.

Más tarde, **Gerhard Domagh** (1895–1964) continuó con el trabajo de Ehrlich. En 1932 inyectó en ratones infectados un nuevo colorante rojo, denominado **prontosil** y observó que sólo los ratones tratados con el colorante lograban sobrevivir. Los ensayos continuaron hasta que Hildegarde, la hija de Domagh, se enfermó de **septicemia**, una infección total del organismo. Como su muerte era inminente, el científico se atrevió a ensayar el colorante en ella, tras lo cual, la niña se alivió.

El descubrimiento del prontosil permitió demostrar que uno de los métodos más efectivos para curar las enfermedades consistía en la administración de fármacos que atacaran directamente los microorganismos patógenos. Gracias a los exitosos descubrimientos de Domagh, los científicos continuaron buscando nuevos antibióticos.

Fue **Alexander Fleming** (1881–1955) quien a pesar de la admiración que sentía por Domagh comentó que tenía algo mejor que el prontosil, nadie quiso escucharle, sin embargo se trataba nada menos que de la **penicilina**. La atención hacia este nuevo antibiótico sólo resurgió con la Segunda Guerra Mundial, cuando pasó a ser secreto militar. Este antibiótico ejerce su acción inhibiendo el sistema enzimático que regula la síntesis de la pared celular de los gérmenes. Algunos de ellos se vuelven resistentes a la penicilina sintetizando otra enzima, la **penicilasa**, que la destruye. Para contrarrestar la acción de la penicilasa el científico dispone de un hongo que le proporciona el núcleo básico de la penicilina (figura 46). Así se pueden adicionar a este núcleo diferentes cadenas laterales, permitiendo la creación de nuevas penicilinas, como la **ampicilina**, **amoxicilina** y **cloxacilina**, que anulan la acción de la penicilasa. A su vez, por mutaciones genéticas, los agentes patógenos desarrollan otras penicilasas capaces de combatir los nuevos antibióticos. De esta manera continúa la lucha por la sobrevivencia entre ambas especies: el hombre y los microorganismos.



Figura 45. Los antibióticos son agentes químicos muy efectivos contra las bacterias. En la ilustración se muestra la bacteria *Treponema pallidum*, causante de la sífilis.



Figura 46. El hongo *Penicillium notatum*, de donde se obtiene algunos tipos de penicilina.

EJERCICIO

¿Por qué fue tan importante el descubrimiento de la penicilina durante la Segunda Guerra Mundial?

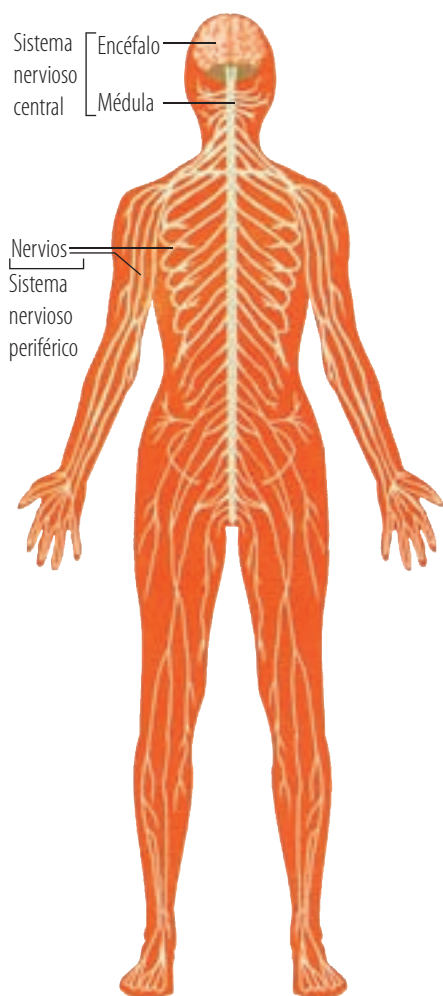


Figura 47. El sistema nervioso se divide en sistema nervioso central (encéfalo y médula) y sistema nervioso periférico (nervios).

3.4 Mecanismos de acción de los fármacos

3.4.1 Componentes del sistema nervioso

En los organismos unicelulares todos los fenómenos vitales ocurren en una sola célula. En cambio, en los organismos multicelulares —gracias al proceso evolutivo— distintos grupos de células se encargan de diversas funciones particulares. En los animales superiores, como el hombre, los grupos celulares especializados han constituido un aparato gastrointestinal para digerir y asimilar los alimentos, un aparato respiratorio que introduce O_2 y elimina CO_2 , un aparato urinario que elimina los desechos, un aparato circulatorio que distribuye los nutrientes, el oxígeno y los productos del metabolismo; un aparato reproductor que perpetúa la especie y, finalmente, un sistema nervioso y un sistema endocrino que coordinan e integran las funciones de todos los sistemas anteriores y las del organismo como un todo.

La acción bioquímica de los fármacos se basa en el efecto que ejercen sobre el sistema nervioso. Los sistemas nerviosos central y periférico constituyen las dos grandes divisiones del sistema nervioso del cuerpo. Ambos sistemas se ven a menudo afectados de diferentes formas por fármacos específicos. El **sistema nervioso central** (SNC) incluye el cerebro y la médula espinal. La hipófisis situada en la base del cerebro, es la glándula directora del sistema endocrino y juntos coordinan eficazmente el control de los mecanismos y funciones de todo el cuerpo. El **sistema nervioso periférico** sirve como transmisor entre el SNC y la actividad que tiene lugar en los tejidos especializados (figura 47). Así tenemos que:

- El **sistema somático** restituye los impulsos a los músculos controlados a voluntad, que actúan en movimientos musculares intencionados, por ejemplo, al caminar o hablar.
- El **sistema autónomo** está encargado del control de las funciones inconscientes o involuntarias. Este sistema se subdivide en **sistema parasimpático**, que regula la velocidad de las pulsaciones del corazón, la respiración y los procesos digestivos y el **sistema simpático** que actúa en momentos de tensión.

Los impulsos del SNC a los órganos terminales o a los de destino de los tejidos, o de estos órganos en sentido inverso al SNC, pasan a través de órganos de control integral denominados **ganglios**. Los ganglios son agrupaciones de células nerviosas que dan una medida de control sobre el paso de los impulsos nerviosos en ambos sentidos. Estos impulsos implican el paso de potenciales eléctricos bajo el cuerpo de la célula nerviosa.

3.4.2 Mediadores químicos en el sistema nervioso

El espacio entre una célula nerviosa que lleva un mensaje del SNC y otra célula nerviosa que debe transmitir el impulso al receptor de un órgano de destino, se denomina **sinapsis**. Los compuestos denominados mediadores químicos se encargan de establecer un puente entre dichos espacios y completar la transmisión del impulso nervioso.



- **La acetilcolina** es el mediador químico de la sinapsis de los ganglios, tanto en el sistema parasimpático, como en el sistema simpático. También, es el mediador entre las terminaciones nerviosas y los órganos de destino del sistema parasimpático.
- **La norepinefrina** es el intermediario químico entre las terminaciones nerviosas y los órganos de destino del sistema simpático.

Cuando un impulso se transmite a lo largo del cuerpo de un nervio y alcanza la terminación de la célula nerviosa en una sinapsis, se libera acetilcolina. En el sistema parasimpático este compuesto migra a través de la sinapsis y se pone en contacto con el mecanismo receptor de la célula nerviosa siguiente. El mecanismo se estimula para crear un potencial eléctrico en aquella célula nerviosa, lo que permite al impulso nervioso atravesar la sinapsis. La acetilcolina se separa entonces por hidrólisis catalizada por la enzima acetilcolinesterasa, y la sinapsis está lista para pasar al siguiente impulso nervioso (figura 48).

3.4.3 Implicaciones farmacológicas

Las terminaciones nerviosas han sido llamadas **transductores biológicos**, pues convierten la energía eléctrica en energía química y viceversa. Este proceso de conversión implica la síntesis de los agentes transmisores, su almacenamiento en los botones sinápticos, su liberación por los impulsos nerviosos hacia la fisura sináptica, y su acción sobre la membrana postsináptica y su destrucción, la cual es catalizada por enzimas concentradas en el área que rodea a las terminaciones. En teoría, al menos, todos estos procesos pueden ser inhibidos o facilitados por drogas que producen cambios en la transmisión sináptica. Las sinapsis son puntos básicos para la manipulación farmacológica de las funciones nerviosas.

Puesto que la transmisión es química, no sólo en el sistema nervioso autónomo y uniones mioneurales, sino también en el sistema nervioso central, el farmacólogo espera regular con el tiempo no sólo la actividad motora somática y visceral, sino también las emociones, la conducta y otras funciones complejas del encéfalo (figura 49).

Las sustancias que han sido utilizadas con este fin, incluyen a los **agentes psicomiméticos**, drogas que producen alucinaciones y otras manifestaciones de las psicosis, a los **tranquilizantes**, medicamentos que alivian la ansiedad y a los **energizantes psíquicos**, medicamentos que mejoran el talante e incrementan la energía y el impulso.

3.5 Definición y clasificación de las drogas

Infortunadamente de manera simultánea al desarrollo científico y tecnológico que conlleva la búsqueda de nuevas terapias para combatir las enfermedades, se desarrollan investigaciones sobre los efectos no deseados producidos por los mismos principios activos y manos inescrupulosas mediando solo por el ánimo de lucro personal, desarrollan preparados farmacológicos que producen efectos desastrosos para aquellos que los usan. A continuación se exponen algunas ideas relacionadas con este problema social.

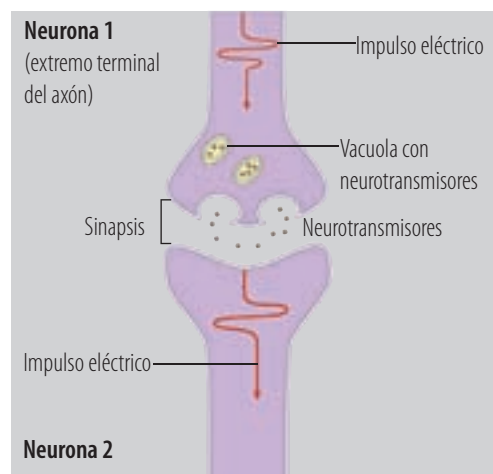


Figura 48. Los impulsos nerviosos se transmiten por medio de las neuronas a través de las uniones sinápticas empleando mediadores químicos como la acetilcolina.

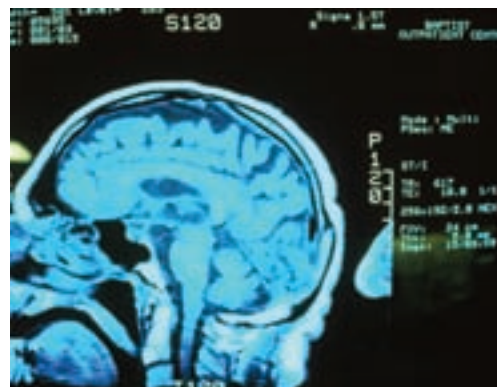


Figura 49. Imagen por resonancia magnética del encéfalo.

EJERCICIO

¿Qué diferencia hay entre medicamento y droga? Elabora tu propio concepto.



Droga	Dependencia física	Dependencia psicológica	Tolerancia
Depresoras del SNC			
Opiáceos	++++	++++	++++
Barbitúricos	+++	+++	++
Benzodiazepinas	+	+++	+
Alcohol	+++	+++	++
Estimulantes del SNC			
Cocaína	—	+++	—
Anfetaminas	No se sabe	+++	+++
Mezcalina	—	++	+
Alucinógenos			
LSD	—	++	++
Marihuana (THC)	—	++	—

Figura 50. Clasificación de las drogas según los efectos que producen.

3.5.1 Definición

El término *droga* se refiere a fármaco, medicamento, remedio o principio activo. Es utilizado para designar cualquier sustancia, generalmente de origen vegetal, capaz de modificar las funciones vitales del ser humano. Son sustancias dotadas de poder estimulante, depresor o alucinógeno. El abuso de drogas genera en quienes las consumen, un estado de adicción que implica en muchos casos dependencia física, síquica y tolerancia a la droga. La dependencia física consiste en la necesidad fisiológica de consumir una droga para evitar la aparición de un efecto indeseable conocido como **síndrome de abstinencia**. La dependencia síquica corresponde al deseo de consumir la sustancia con el objeto de alcanzar y mantener un estado de ánimo placentero en una situación determinada. Un individuo recurre a la droga para disminuir los niveles de angustia o, para alegrarse, relajarse, etc.

3.5.2 Clasificación

Según los efectos que produzcan, las drogas se clasifican en:

- **Estimulantes:** estimulan el SNC, aumentando el estado de alerta del organismo, contrarrestando artificialmente la fatiga y el decaimiento, provocando un sinnúmero de alteraciones como estados de euforia y desinhibición, excitación motora, disminución del control emocional de la fatiga y del sueño, inquietud, desasosiego, irritabilidad, violencia y agresividad. Además, dependencia física, psíquica y tolerancia. Cuando su efecto en el organismo disminuye, se pasa del estado de euforia al de fatiga, depresión y cansancio, mayor aún que el que originó el consumo. Dentro de este grupo tenemos: las anfetaminas, la cocaína y la cafeína.
- **Depresoras:** deprimen el SNC, produciendo relajación, desaparición de la angustia, somnolencia, incoordinación motora, inestabilidad emocional, sensación de bienestar, dependencia física, síquica y tolerancia. Como depresores están los derivados del opio (morfina, heroína), los barbitúricos, las benzodiazepinas, los inhalantes y el alcohol.
- **Alucinógenas, psicodélicas o psicomiméticos:** producen una percepción ilusoria de la realidad y alteran el funcionamiento psíquico afectando las emociones. Algunos ejemplos son la marihuana y la dietilamida del ácido lisérgico (LSD) (figura 50).

Según el grado de difusión, uso y aceptación social, las drogas se clasifican en institucionalizadas, no institucionalizadas y drogas límite:

- **Institucionalizadas:** son aquellas de uso masivo y aceptadas socialmente como el alcohol, el tabaco, las xantinas (café, té, bebidas de cola). Son legales y su consumo y comercialización son socialmente aceptados.
 - **El alcohol:** presente en bebidas como el vino, la cerveza y el aguardiente, en forma de etanol ($\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$), es una droga depresora del SNC. La ingestión de dosis pequeñas (1 a 2 copas) produce relajación y sedación mínima que provoca disminución en el control de las emociones, por lo que la persona se vuelve conversadora, simpática o, por el contrario, agresiva y de mal humor. Además se presenta vasodilatación cutánea o sea sensación de calor y taquicardia, y disminuye la tensión nerviosa y los reflejos.



Al aumentar la dosis (cerca de 1 mg de etanol por 1 mL de sangre), se presenta incoordinación motora, lengua pesada y habla balbuceante, hay pérdida del equilibrio, de la memoria y la atención. Todo concluye con un sueño profundo. Si el nivel supera los 5 mg/mL de sangre, se puede presentar la intoxicación aguda, que lleva al paro respiratorio o al infarto del miocardio.

Una vez ingerido, la enzima deshidrogenasa láctica transforma el etanol en acetaldehído (CH_3CHO) y luego la aldehído-deshidrogenasa lo convierte en ácido acético (CH_3COOH). Con posterioridad puede ser catabolizado a CO_2 y H_2O o bien metabolizado a azúcares o lípidos.

- El tabaco: se extrae de la planta *Nicotina tabacum*, en cuyas hojas se encuentra presente la nicotina ($\text{C}_8\text{H}_{17}\text{N}$), un alcaloide, en forma de sal del ácido málico o cítrico.

Es un líquido incoloro que hierve a 246°C , algo soluble en agua, fuertemente levógiro y muy tóxico.

Cuando una persona consume nicotina a través de los pulmones y de ahí al torrente sanguíneo, se inician una serie de trastornos, entre los que se destacan: descenso de la presión arterial, dilatación bronquial, taquicardia, disminución del flujo sanguíneo a vísceras como el corazón, el cerebro, los riñones y las vías coronarias, así como alteración de la visión.

El tabaco y los cigarrillos no sólo contienen nicotina. Se han identificado productos químicos tóxicos como el monóxido de carbono, el ácido sulfhídrico, el ácido cianhídrico y óxidos de nitrógeno, el alquitrán, que contienen, entre otros, benzopireno, altamente cancerígeno. Los fumadores y los no fumadores que los acompañan, presentan, en consecuencia, un alto riesgo de muerte prematura a causa de enfermedades cardiovasculares o broncopulmonares (figura 51).

- Las **xantinas**: son alcaloides ampliamente distribuidos en la naturaleza. Entre ellas están: la **cafeína**, que se encuentra en las semillas de café (*Coffea arabica*), en las hojas de té (*Thea sinensis*) y en el cacao (*Theobroma cacao*). En el té encontramos además la **teofilina** y en el cacao la **teobromina**. Estas sustancias son estimulantes del SNC, aumentan la actividad mental, el rendimiento físico y disminuyen la fatiga y el sueño. Además, ocasionan un aumento de la secreción de ácidos estomacales y de la producción de orina. En grandes dosis producen insomnio e incluso convulsiones (figura 52).

Las bebidas cola, tan consumidas hoy en día, datan de finales del siglo XIX en Estados Unidos, donde un comerciante, **John Pemberton**, fabricó una bebida refrescante utilizando como ingredientes azúcar, cafeína, hojas de coca y otros extractos vegetales, todos ellos diluidos en soda o agua carbónica.

La mayoría de bebidas con efecto estimulante contienen cafeína. Adicionalmente, este alcaloide también está presente en algunos analgésicos, antihistamínicos y antigripales, con el fin de contrarrestar los efectos sedantes de estas drogas.

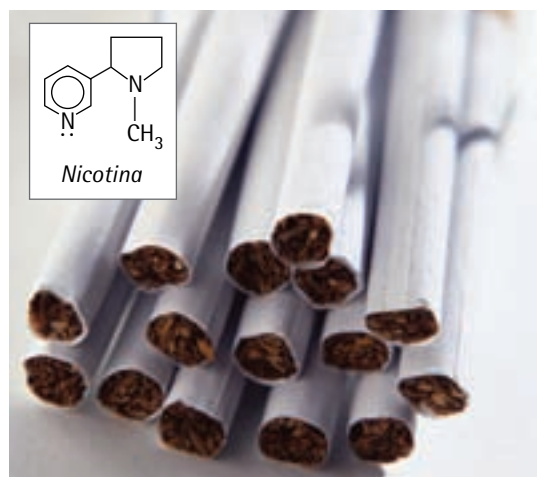


Figura 51. No obstante los daños que puede causar el consumo de nicotina, la industria tabacalera es una de las más importantes, en países como Cuba y EE.UU.



Figura 52. El café se consume como una bebida de la cual se dice que es muy estimulante, sin embargo, contiene altas concentraciones de cafeína que pueden ser nocivas para el organismo.



Figura 53. El cáñamo es una fibra de uso común en Asia, extraída de la *Cannabis sativa*.

■ **No institucionalizadas:** corresponden a sustancias cuyo consumo, venta y distribución son ilegales y, por lo tanto, penalizados por la ley. Algunos ejemplos son, la marihuana, la cocaína, el bazuco, la heroína y la dietilamida del ácido lisérgico o LSD. En nuestro país las drogas más empleadas son la marihuana, la cocaína y el LSD.

- **La marihuana:** un arbusto, la *cannabis sativa*, es originario del mediterráneo y se da muy bien en los países tropicales. Es una planta anual, herbácea, de la que se aprovecha su fibra para fabricar cáñamo. De su inflorescencia se obtiene una resina, de la cual se obtiene el *hachís* (en Oriente y Europa) o *kifi* (en los pueblos del norte de África). Las hojas, flores y resina, desecadas y trituradas, se fuman en forma de cigarrillos. La sustancia responsable de los efectos típicos de esta droga es el Δ -9-tetrahidrocanabinol o THC.

Los efectos de la marihuana se manifiestan con euforia, relajación, risa y desinhibición. Así mismo se observa disminución en la capacidad de atención y de concentración, alterándose la dimensión espacio-temporal y la percepción auditiva. Por producir estos efectos, la marihuana se considera una droga alucinógena. Algunas personas experimentan sensaciones desagradables, como vómitos, fuertes dolores de cabeza, ansiedad, pánico y sensación de enloquecimiento (figura 53).

La marihuana puede crear dependencia. Por otro lado, tiene efectos a corto y mediano plazo sobre funciones fisiológicas respiratorias, cardiovasculares, endocrinas, nerviosas e intelectuales, en niños y adolescentes en desarrollo.

- **La cocaína:** es un alcaloide que se encuentra en las hojas de la planta de coca, *Erythroxylon coca*. En pequeñas dosis, la cocaína es estimulante, pero cuando pasa el efecto, el ánimo del consumidor decae totalmente. Para contrarrestar esta situación, la persona debe consumir una nueva dosis, la cual, una vez pasado el efecto, produce una depresión aún mayor, generando el círculo vicioso característico de la adicción.

En dosis repetidas la cocaína actúa sobre el SNC. El individuo experimenta exaltación del ánimo, con sensaciones de vigor y ausencia de fatiga. Estos síntomas van unidos a una aparente brillantez intelectual, parecida al ingenio pero carente de un trasfondo creativo. Ocasionalmente causa alucinaciones, especialmente auditivas, táctiles y visuales. El desdoblamiento polidimensional de los objetos y su difracción cromática conducen, junto con las voces insultantes que también se pueden percibir, a situaciones de terror incontrolable, acompañadas a veces de intensa agresividad. Uno de los síntomas más característicos de este tipo de intoxicaciones, es el denominado **síndrome de Magnan**, cuadro alucinatorio en el que el enfermo cree percibir bajo su piel o su ropa pequeños insectos parásitos.

La cocaína se comercializa también en forma de pasta base de cocaína o PBC. Esta droga es cocaína no tratada, impura y mezclada con los solventes orgánicos usados en el proceso de extracción. Esto hace de la pasta base una droga aún más peligrosa para el organismo y más adictiva que la cocaína pura (figura 54).

- **La morfina:** uno de los alcaloides extraídos del opio. Es poco soluble en agua y ópticamente activa, de tipo levógiro.

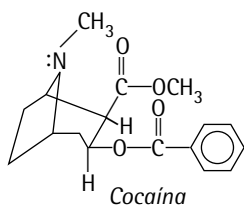


Figura 54. De las hojas de la coca se extrae la cocaína. Este alcaloide produce cuadros de adicción casi irreversibles.

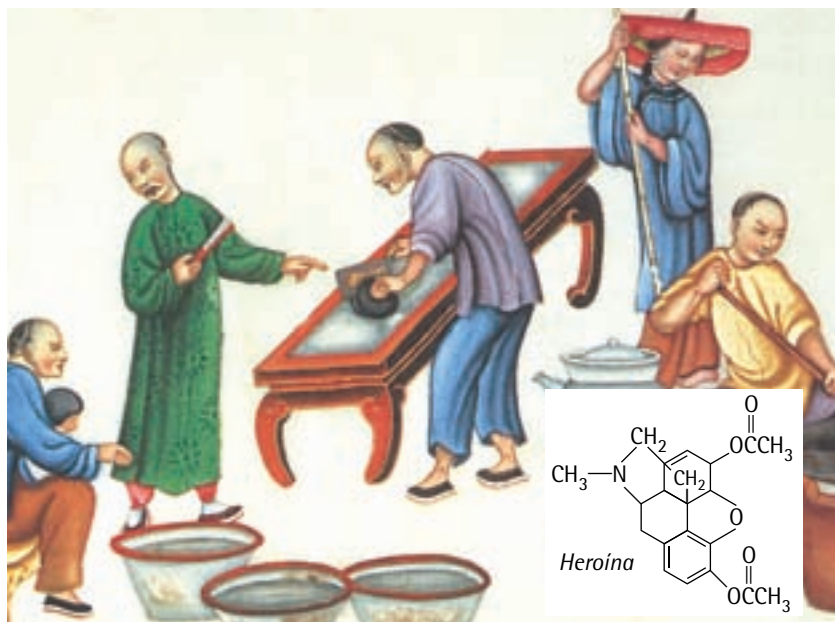


Figura 55. El comercio de opio, impulsado en China, por Gran Bretaña causó un enorme daño físico y moral entre la población y desembocó en "las guerras del opio" en 1839.

Por su acción sobre el SNC actúa como sedante y en dosis mayores como narcótico, siendo uno de los remedios más eficaces contra el dolor. En medicina es utilizada con este fin. Al sustituir los grupos hidroxilo de la morfina por grupos acetato ($-\text{OCOCH}_3$), se tiene heroína, la cual es tres veces más potente que la morfina. En la misma medida, la heroína produce una mayor adicción, por lo que es considerada de alta peligrosidad (figura 55).

- **El LSD:** la dietilamida del ácido lisérgico es una de las drogas sintéticas de mayor poder alucinógeno, sin mermar en el individuo la capacidad de comunicar su experiencia.

Inicialmente, antes de ser sintetizado artificialmente, era aislado de un hongo, conocido como el **cornezuelo de centeno**, cuyo nombre científico es *Claviceps purpurea*.

Este hongo es un parásito que ataca y destruye los ovarios no fecundados de la planta afectada. Contiene varios principios activos usados en medicina, todos ellos, alcaloides derivados del ácido lisérgico (figura 56). Una dosis de tan solo 0,001 a 0,002 mg por kilo de peso corporal, causa graves efectos tanto físicos como psíquicos.

Una persona bajo el efecto del LSD sufre de alucinaciones y es completamente incapaz de distinguir entre la realidad y la fantasía.

- **Los inhalantes:** incluyen gases y líquidos muy volátiles, presentes en sustancias de uso doméstico, como colas, disolventes o pegamentos (bóxer, aerosoles, gasolina, éter, etc.).

Los síntomas producidos tras la inhalación de sus vapores son similares en todos los casos y se caracterizan por una sensación de júbilo y despreocupación, que puede progresar hasta alucinaciones, con perturbación del juicio y las percepciones, agresividad y vómito. En casos extremos puede causar estados comatosos y la muerte.

El bajo precio de los productos que contienen esas sustancias y la rapidez de sus efectos explican el auge de esta práctica de drogadicción en indigentes y la población escolar (figura 57).

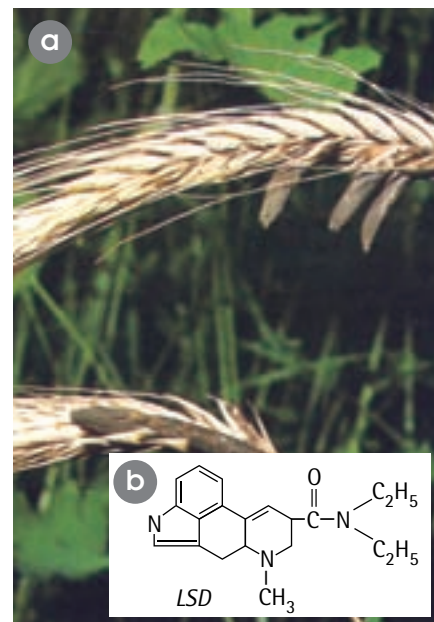


Figura 56. El LSD (b) se encuentra en el cornezuelo del centeno (a), un hongo patógeno del cereal.

EJERCICIO

El inhalante más común en los estratos bajos de nuestro país es el pegante o bóxer. Consulta sobre los efectos producidos por esta sustancia.



Figura 57. Los inhalantes son drogas muy fuertes y al mismo tiempo, baratas, por lo que han llevado a serios problemas de drogadicción entre fracciones marginadas de la sociedad.

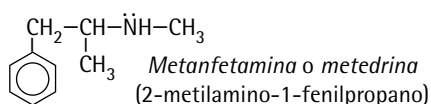
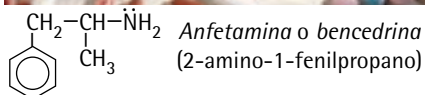


Figura 58. Las anfetaminas son potentes estimulantes. Son consumidas por deportistas y cada vez más por adolescentes en busca de diversión.

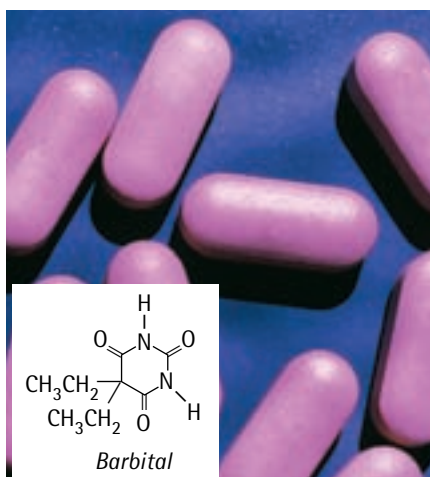


Figura 59. El consumo de barbitúricos y sus mezclas es cada día más frecuente no solo entre los adolescentes sino también en los adultos.

■ **Drogas límite:** son aquellas usadas con fines terapéuticos pero que son susceptibles de ser utilizadas con otros propósitos. Como ejemplos tenemos: benzodiazepinas, anfetaminas y barbitúricos. Muchas personas, sin detenerse a pensar en los efectos que les pueden ocasionar, las consumen en altas dosis buscando con esto sobrellevar el agitado ritmo de vida en la sociedad moderna.

— **Las benzodiazepinas (BZP):** en el año 1957 se logró la síntesis de la primera benzodiazepina: el clorodiazepóxido. Los efectos más notorios de algunas BZP, como el **diazepam**, se relacionan con su acción tranquilizante, tanto de los estados de angustia como los de tensión emocional. Otras como el flunitrazepam tiene una función inductora de sueño, por lo que son muy usadas para combatir el insomnio.

Con dosis altas de BZP pueden presentarse, otros efectos no deseados, como náuseas, vómito, descoordinación motora, confusión, amnesia, dolor de cabeza, visión borrosa o dolor en las articulaciones. También pueden inducir estados de irritabilidad, ansiedad, depresión, insomnio, euforia y alucinaciones. Debido a sus propiedades alucinógenas, mucha gente abusa de estas drogas usando altas dosis de BZP puro o, dosis menores combinadas con bebidas alcohólicas, con lo cual el efecto se potencia, haciendo la mezcla extremadamente peligrosa, pues puede ocasionar paro respiratorio.

— **Las anfetaminas:** químicamente corresponden a aminas derivadas de la β -fenilisopropilamina. Actúan como estimulantes del SNC, produciendo una sensación de bienestar general y disminución del apetito. Aceleran el ritmo cardíaco y aumentan la presión sanguínea. Actualmente se usan para reducir el apetito y para mejorar el rendimiento deportivo. Consumidas en altas dosis son alucinógenos potentes (figura 58).

— **Los barbitúricos:** derivados del ácido barbitúrico, son sedantes, agentes hipnóticos y depresores del SNC. Se comercializan como pastillas para dormir o tranquilizantes. Causan tolerancia, razón por la cual la persona debe ir aumentando la dosis para conseguir el efecto deseado (figura 59).

3.6 La drogadicción

El aumento masivo en el consumo de drogas registrado en el mundo occidental a partir del siglo XIX, sigue un curso paralelo al proceso de industrialización y desarrollo del modelo económico vigente.

La familia es la agrupación humana que mayor influencia ejerce en la formación de los individuos y es precisamente allí en donde el problema de la toxicomanía tiene su origen.

La drogadicción implica una serie de patologías que se expresan a nivel físico, psicológico y social. En el contexto médico los diferentes tratamientos van encaminados, en primera instancia, a aliviar los efectos producidos por el “síndrome de abstinencia” y, posteriormente a tratar de eliminar el hábito del consumo, al menos en su manifestación fisiológica. En el campo psico-social, el tratamiento es un poco más complicado, puesto que depende, en gran parte, de una percepción y aceptación adecuada del problema y sus causas.

EJERCICIO

1. Elabora una lista de factores de tipo social que consideres son desencadenantes del problema de las drogas entre los adolescentes de tu país. Discute con tus compañeros de grupo. Diseña una propuesta para evitar estos factores.
2. Indica que otras terapias diferentes a las expuestas en el texto se podrían usar como alternativas para rehabilitar a un drogadicto.



Interpreta

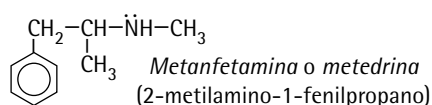
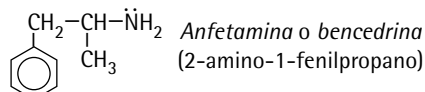
- 1 Actualmente se conocen gran cantidad de productos medicinales extraídos de plantas. Estos productos conforman una nueva categoría de productos medicinales conocidos como fitofármacos. Su auge radica en que se cree que no producen efectos colaterales. Son extractos crudos, mezclas o conjuntos de compuestos cuya acción farmacológica depende de la combinación de los principios activos de las plantas. Al respecto, responde:
 - a) ¿Qué es un principio activo?
 - b) ¿Cuál es el mecanismo de acción de un principio activo en el organismo?
 - c) ¿Qué principios activos conoces? Escríbelos.
 - d) ¿Qué son los excipientes?
 - e) ¿Por qué crees que la medicina natural tiene tanta aceptación en la actualidad?
 - f) ¿Qué consecuencias trae para la salud la automedicación?
- 2 Generalmente cuando una persona ha ingerido alcohol, siente sed. ¿Por qué? Explica la reacción que se lleva a cabo en el organismo.
- 3 Las xantinas son alcaloides ampliamente distribuidos en la naturaleza en sustancias como: la cafeína, la teofilina y la teobromina. Explica:
 - a) ¿En qué bebidas se encuentran?
 - b) ¿Qué efectos causan en el organismo?
 - c) ¿Qué otras bebidas de uso común contienen estas sustancias?
- 4 Hoy día, en el mercado se venden medicamentos denominados genéricos que proporcionan al consumidor un ahorro importante frente a los medicamentos de marca. Consulta y responde:
 - a) ¿Qué es un medicamento genérico?
 - b) ¿Cómo se reconoce un medicamento genérico?
 - c) ¿Es igual de seguro que el medicamento original?
 - d) ¿Por qué razón son más económicos?



Argumenta

- 5 Durante la Segunda Guerra Mundial se utilizó la metanfetamina para contrarrestar la fatiga de los soldados.

Cuando la guerra finalizó, se comercializó con los nombres de Maxitron y Metedrina. A raíz de su inclusión en la lista de sustancias controladas apareció en el mercado negro como clorhidrato de metanfetamina, luego se le dio el nombre de speed y más tarde se denominó crank. Simultáneamente apareció en el mercado negro asiático, en forma pura y bajo la denominación de shabu o sharon. Cuando llegó pura a Estados Unidos recibió el nombre de ice.



- a) ¿Qué efectos ocasiona en el organismo el uso de anfetaminas?
- b) ¿Qué opinas sobre el uso de anfetaminas para combatir la fatiga o el cansancio?
- c) ¿Qué efecto adictivo causa esta droga en el organismo?
- d) ¿Qué consecuencias trae el consumo alterno de estimulantes y depresores?



Propone

- 6 En las etiquetas de los medicamentos encontramos información que es importante tener en cuenta para asegurar su buen uso.

Completa la siguiente información con base en cualquier medicamento que tengas a tu disposición.

Composición:

Posología:

Contraindicaciones y advertencias:

Vía de administración

Fecha de elaboración:

Fecha de vencimiento:

- 7 Explica:
 - a) ¿Cuál es el principio activo del medicamento que has analizado?
 - b) ¿Por qué razón no es aconsejable tomar medicamentos sin prescripción médica?
 - c) ¿Qué puede suceder si hacemos caso omiso de la fecha de vencimiento de un medicamento y lo ingerimos?



Actividades



Verifica conceptos

- 1** En el genoma humano (conjunto integral y secuenciado del ADN) se estima que hay aproximadamente 50.000 o más genes. Los genes son trozos funcionales de ADN compuestos a su vez de 1.000 hasta 200.000 unidades de nucleótidos. Responde:

- ¿Cómo están conformados los nucleótidos?
- ¿Qué es un codón y un anticodón?
- ¿Qué es un gen?
- ¿Qué puede suceder si hay error en la replicación del ADN?

- 2** Relaciona los términos y las definiciones según corresponda.

- ARN
- ADN
- Cromosoma
- Vector
- Transcripción
- Traducción

- ☐ Contienen los genes y constituyen el genotipo.
- ☐ Los virus almacenan su información genética en esta molécula.
- ☐ Copia de un segmento del ADN por parte del ARN.
- ☐ Interpretación del lenguaje del ARNm al lenguaje de la proteína.
- ☐ Partes del ADN que se pueden autorreplicar.
- ☐ Almacena información genética para que sea transmitida.



Analiza y resuelve

- 3** Explica con un esquema sencillo cómo ocurre el proceso de clonación.
- 4** La información contenida en los genes se transmite de una generación a otra a través de proteínas. Estas determinan las características físicas de los individuos, tales como el color del cabello, la estatura, el color de los ojos, lo mismo que la

propensión a ciertas enfermedades. La información almacenada en los genes está modulada por otros factores genéticos y ambientales que permiten un rasgo de variabilidad en las condiciones de salud y enfermedad, que hacen que cada individuo sea único. Explica:

- ¿Qué opinas sobre la influencia de los factores ambientales en la modulación de genes y las consecuencias en la salud?
- ¿Qué diferencias existen entre el genotipo y el fenotipo? Justifica tu respuesta con ejemplos.



Problemas básicos

- 5** Indica qué aminoácidos se producirán a partir de la siguiente secuencia de ADN.

5' T A C C G A C C G A A T T A T C G G C
ATGTTTCGTTTCATC 3'

- 6** Con base en la siguiente imagen, explica:

- ¿Cómo está conformado el nucleótido?
- ¿Cuáles son los pares de bases que conforman la molécula?
- ¿Qué importancia tienen los puentes de hidrógeno en esta molécula?





- 7 Dada la siguiente secuencia de bases de una porción de ADN en cada cadena complementaria:

ATGGTATGGATGCTATATTCCGTT

TACCATACCTACGATATAAGGCAA

Escribe:

- La secuencia de bases del segmento de ARNm transcrito por la ARN-polimerasa con este patrón de ADN.
- La estructura primaria (secuencia de aminoácidos) de la fracción de proteína traducida por ese ARNm.

- 8 Según la regla de Chargaff para ADN de doble hélice: $A = T$; $A/T = 1$; $G = C$; $G/C = 1$; $A + G = T + C$; $A + G/T + C = 1$; $A + T$ y $G + C$ son características de cada organismo.

Completa el siguiente cuadro:

Especie	Composición en bases, moles, %				A + T/G + C
	A	G	C	T	
A	29,3	21,4	21,2	29,2	
B	24,6	26,0	25,8	32,0	
C	32,1	17,7	17,6	32,0	

- 9 En un ADN aislado de una determinada especie, una de las hebras o cadenas de su doble hélice es:

5' AACGGAATATAGC3'

Escribe la secuencia de las bases de la hebra complementaria.

- 10 La siguiente secuencia de ARNm daría lugar a la de aminoácidos indicados:

UCG CGA CCA GAA AAU AAG GUU GCG

Arginina-prolina-ácido glutámico-arparagina-lisina-valina-alanina

Explica:

- ¿Qué efecto tendría sobre la secuencia de aminoácidos la inserción al principio de la cadena de un nucleótido de citosina (C)?
- ¿Qué efecto tendría sobre la misma secuencia la inserción al principio de la cadena de ARNm de un nucleótido de adenina (A)?



Problemas de profundización

- 11 La genetista estadounidense Bárbara McClintock, en 1983, fue galardonada con el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus investigaciones sobre los cromosomas del maíz. Bárbara descubrió que los genes del maíz pueden movilizarse y transferir de posición en los cromosomas. Este hallazgo permitió comprender los procesos hereditarios y orientar múltiples investigaciones relacionadas con alteraciones genéticas como las mutaciones.

- ¿Qué es una mutación?
- ¿Cuáles son los agentes mutagénicos?
- Considerando la época del descubrimiento de Bárbara McClintock, ¿se puede afirmar que sus hallazgos fueron pioneros y revolucionarios? Justifica tu respuesta.

- 12 La doble hélice de ADN pesa aproximadamente 1×10^{-18} g por cada mil pares de nucleótidos. Calcula el número de nucleótidos presentes en el ADN de algunas células:

Especie	Gramos de ADN por célula
Pez	2×10^{-12}
Planta superior	$2,5 \times 10^{-12}$
Bacteria	5×10^{-14}

- 13 En el año 1961, F. Crick estudió el efecto de las mutaciones que causan inserciones (agregado de nucleótidos) o deleciones (supresión de nucleótidos) en el ADN que codifica una proteína. Dada una muestra de ADN normal, la secuencia de tripletes de bases de su ARNm normal transcrito y la secuencia de aminoácidos de la proteína normal traducida, es posible detectar la mutación original. Si se parte de la siguiente secuencia de la cadena de la molécula de ADN:

ATGGTGTGGGTGCTATATTCCGTT

Especifica:

- La estructura de la cadena complementaria de ADN.
- La estructura de ARNm que transcribe esta secuencia.



Actividades



Verifica conceptos

- 1 La deficiencia de vitaminas en el cuerpo, se conoce como **avitaminosis**. Cada vitamina tiene una acción específica en el organismo y su deficiencia causa diferentes síntomas. Completa el siguiente cuadro con los síntomas de cada avitaminosis.

Vitamina	Síntomas
Complejo B	
C	
A	
K	
E	
D	

- 2 Marca con una **x** los enunciados que son verdaderos, con respecto a las vitaminas y las hormonas.

- ☐ Son sustancias orgánicas de composición variada, no sintetizables por el organismo.
- ☐ No aportan energía al organismo, pero sin ellas el organismo no puede aprovechar los nutrientes.
- ☐ Se alteran con los cambios de temperatura, pH y presencia de la luz.
- ☐ La vitamina C se conoce también como retinol.
- ☐ La vitamina D se conoce como tocoferol.
- ☐ La leche es una fuente de vitamina E.
- ☐ Todas las hormonas y las glándulas son necesarias para el funcionamiento del organismo.
- ☐ La adrenalina se segrega como reflejo a estímulos como el frío.



Analiza y resuelve

- 3 Cuando una glándula endocrina es estimulada, libera una hormona o primer mensajero; esta hormona favorece, a nivel celular, la actividad de receptores de membrana y como consecuencia se alteran las funciones de las células. Completa la información:

Los ovarios secretan _____

Las glándulas suprarrenales _____

La tiroides _____

El páncreas _____

Los testículos _____

La hipófisis _____

- 4 La diabetes mellitus o diabetes sacarina es un problema orgánico multisistémico que se caracteriza por el aumento de los niveles de glucosa en la sangre. Es causada por la baja producción de la hormona insulina, secretada por las células β del páncreas.

Responde:

- a) ¿Qué nombre recibe el nivel alto de glucosa en la sangre?
- b) ¿Dónde se localiza el páncreas?
- c) ¿Será posible extirpar el páncreas?
- d) ¿Cómo afecta el metabolismo esta enfermedad?

- 5 Las glándulas como la tiroides y los ovarios presentan zonas especiales para el almacenamiento de sus hormonas. Explica:

- a) ¿En qué momento liberan las hormonas?
- b) ¿Qué sucede con el resto de glándulas donde almacenan las hormonas?



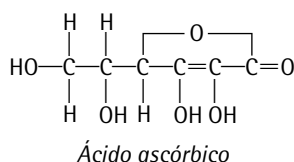
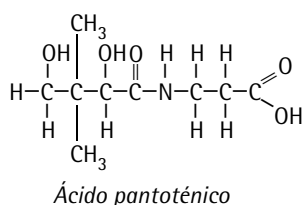
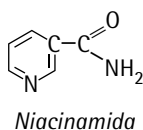
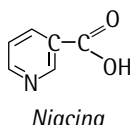
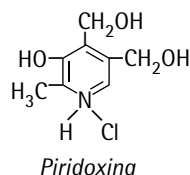
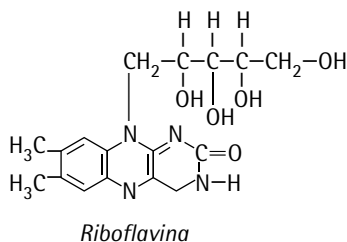
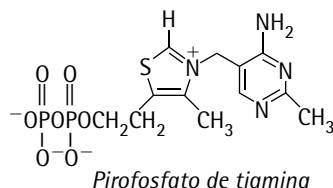
Problemas básicos

- 6 Los alimentos pierden su contenido de vitaminas por la cocción, el cambio de pH y la luz. Explica:

- a) ¿Qué le sucede a una ensalada de verduras si se le agrega jugo de limón?
- b) ¿Cuáles son las vitaminas que se solubilizan en el agua de la cocción? Nómbralas.
- c) ¿Qué le sucede a la lechuga si se lava con agua ozonizada?
- d) ¿Qué precauciones debes tener especialmente con el consumo de vitamina C?



- 7 Las siguientes estructuras químicas nos muestran la composición de algunas vitaminas:



Relaciona cada una de las estructuras con la vitamina correspondiente.

- 8 El común de la gente goza de los deportes extremos porque incrementan la adrenalina en el organismo. Determina:

- ¿Qué efectos tiene esta hormona sobre el torrente sanguíneo?
- ¿Qué diferencia tiene con la noradrenalina?
- ¿Es conveniente para el organismo esa descarga de adrenalina?



Problemas de profundización

- 9 Los anticonceptivos orales son píldoras que contienen las hormonas estrógeno y progestina.



- ¿Cuál es el mecanismo de acción de los anticonceptivos orales?
- ¿Qué ventajas tienen estos anticonceptivos?
- ¿Qué desventajas tienen?
- ¿Qué le puede suceder a una mujer lactante si utiliza este tipo de anticonceptivos?

- 10 Sobre la tiroxina responde las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es su fórmula estructural?
- ¿Cómo se metaboliza el organismo?
- ¿Cómo se elimina en el organismo?
- ¿Cuáles son los efectos fisiológicos?

- 11 A las personas que tienen problemas con la presión arterial alta, junto con el medicamento, generalmente les recetan diuréticos. Explica:

- ¿Qué función cumple el diurético en el organismo?
- ¿Por qué razón se producen calambres en el paciente?
- ¿Qué sucede con la regulación de agua en el organismo?



Actividades



Verifica conceptos

- 1** Todos los medicamentos necesitan una cantidad determinada para producir efecto y esta cantidad se denomina dosis terapéutica. Cuando se ingieren en cantidades superiores, pueden producir intoxicación e incluso la muerte; se denomina dosis letal.

En el caso de la cafeína, la dosis letal corresponde a 5.000 mg. Con base en la información de la siguiente tabla desarrolla las actividades planteada a continuación:

Bebida/sustancia	Cafeína mg
Taza de café	90-150
Taza de café soluble	60-80
Taza de té	30-70
Mate	25-150
Vaso de cola	30-45
Barra de chocolate	30
Tableta de analgésico	30

- Construye una gráfica que permita relacionar los valores, sustancia eje X y cafeína eje Y.
- Especifica las propiedades de estas sustancias. ¿Qué ocurre en los picos de mayor altura?
- Determina cuántas tazas de café, máximo, puede consumir una persona en la jornada laboral de ocho horas.



Analiza y resuelve

- 2** Existen medicamentos como analgésicos y antidepresivos, bebidas energizantes y algunas gaseosas que contienen un porcentaje de cafeína, debido a la capacidad que presenta esta sustancia para actuar en el sistema nervioso central y estimular la producción de adrenalina y noradrenalina. Responde:

- ¿Qué función cumplen en el organismo la adrenalina y la noradrenalina?
- ¿Cómo influye la cafeína en el funcionamiento de los neurotransmisores?

- 3** La cafeína al igual que otras sustancias de origen vegetal, es considerada un alcaloide. Explica:

- ¿Qué significa esta denominación?
- ¿Qué otros alcaloides existen?
- ¿Cómo influye el consumo de este tipo de sustancias en el organismo humano?

- 4** A fines de enero de 1996, en Estados Unidos, la Food and Drug Administration (FDA) aprobó el uso de una sustancia llamada olestra, capaz de sustituir las grasas, no solo la que hace parte de algunos alimentos, sino también la utilizada para cocinar. La olestra se considera la primera grasa sintética libre de calorías y se trata de un polímero de la sucrosa que no puede ser asimilado por el organismo, es decir, que no se absorbe.

La noticia fue bien recibida por los obesos y los enfermos cardíacos, no así por algunos especialistas que afirmaron que el alimento causaba serios inconvenientes. El más grave es que la olestra disminuye la absorción de vitaminas A, D y E, debido a que estas son liposolubles y son captadas por la olestra que las arrastra con ella.

Los fabricantes de la olestra resolvieron la situación agregando vitaminas a su producto. Responde:

- ¿Qué opinas acerca de estos productos que remplazan las sustancias naturales?
- ¿Aprobarías el uso de la olestra? Justifica tu respuesta.
- ¿Por qué crees que este descubrimiento interesa tanto a obesos como a pacientes cardíacos?
- La olestra de alguna manera es a las grasas como los edulcorantes son al azúcar. ¿En qué casos está especialmente indicada?



Problemas básicos

- 5** Responde las siguientes preguntas:

- ¿Cómo puedes definir la salud desde el punto de vista químico?
- ¿Qué situaciones pueden alterar el estado estacionario de los sistemas químicos de un organismo?



- c) ¿Cualquier alteración externa se traduce necesariamente en el malestar de un organismo?
- d) Cuando se menciona la palabra droga, ¿crees que siempre se refiere a una sustancia capaz de producir alteraciones indeseables en el organismo?
- e) ¿Es lo mismo un fármaco que un medicamento?

6 La quinina es un principio activo que se logró aislar de la corteza de la quinaquina, para el tratamiento de la malaria. Como esta sustancia, en la vida cotidiana solemos utilizar remedios caseros extraídos de plantas, generalmente sin saber específicamente cuál es su acción en el organismo.

Consulta y completa en la siguiente tabla la acción específica de algunas de dichas plantas.

Planta	Acción específica
Caléndula	
Saúco	
Albaca	
Hierbabuena	
Menta	



Problemas de profundización

7 El índice de masa corporal es un valor usado por los médicos y nutricionistas para evaluar el grado de obesidad de una persona. Para ello, emplean una ecuación matemática que relaciona la masa corporal y la estatura del paciente:

$$\text{Índice de masa corporal} = \frac{\text{masa corporal (kg)}}{\text{altura (m}^2\text{)}}$$

Teniendo en cuenta esta fórmula matemática, calcula el índice de masa corporal para una persona.

8 En la siguiente tabla se muestran los valores del índice de masa corporal, relacionados con la clasificación y los riesgos:

Clasificación	IMC	Riesgo
Delgadez	Menos de 18,5	Problemas clínicos
Normal	18,5 a 24,99	Sin riesgo
Sobrepeso	25 a 29,99	Aumentado
Obesidad clase I	30 a 34,99	Moderado
Obesidad clase II	35 a 39,99	Severo
Obesidad clase III	Mayor de 40	Muy severo

- a) Calcula tu índice de masa corporal y compáralo con los datos de la tabla.
- b) Elabora una lista de los alimentos que consumes con frecuencia y responde:
- ¿Cuáles de estos alimentos se caracterizan por ser ricos en grasa, proteínas, carbohidratos, fibra y vitaminas?
 - ¿Cómo influye este tipo de alimentos en el estilo de vida de quienes los consume?

9 Existen en el común de la población mitos acerca de la cafeína, de los cuales algunos son ciertos, pero muchos otros no. Lee atentamente el siguiente texto y responde:

La cafeína es como las drogas peligrosas, porque crea adicción.

Si bien la cocaína y la heroína son drogas sumamente adictivas y provocan efectos graves en la salud, en el nivel social y psicológico, no hay evidencias que sugieran que la cafeína provoque resultados similares, afirma el doctor Charles O'Brien. En el sentido médico estricto, la "adicción" a la cafeína implicaría consumirla de una manera abusiva. Una vez que la gente alcanza su nivel diario normal de consumo de cafeína, por lo general no desea consumir más; y casi nadie tiene problemas cuando reduce su consumo en el transcurso de varios días en vez de hacerlo de una sola vez, opina O'Brien.

Explica:

- a) ¿Qué es adicción?
- b) ¿Cuál es el principio químico de una sustancia adictiva?
- c) ¿Cómo influye en el sistema nervioso central?
- d) ¿Cómo se puede prevenir la adicción a sustancias con alto contenido de alcaloides?

El misterioso caso del enamoramiento



Químicamente, la feniletilamina es una amina que pertenece al grupo de las anfetaminas, es decir, un fármaco estimulante del sistema nervioso central y periférico que disminuye el cansancio y permite aflorar la ternura en caricias, palabras y contacto corporal.

"El amor nada da sino a sí mismo, y nada toma sino de sí mismo".

Khalil Gibran

Profesionales en psicología, medicina y química de diferentes partes del mundo buscan explicaciones a los estados anímicos en los seres humanos, especialmente en los momentos de fascinación, como es el caso del amor.

Algunos expertos en el tema argumentan que el proceso de enamoramiento inicia con sentimientos de fascinación hacia la persona que nos interesa, y posteriormente se consolida cuando el hemisferio derecho del cerebro, zona encargada de las emociones, se satura de una sustancia química denominada **FEA (Fenil-EtilAmina)**.

Químicamente, la feniletilamina es una amina que pertenece al grupo de las **anfetaminas**, es decir, un fármaco estimulante del sistema nervioso central y periférico que disminuye el cansancio y permite aflorar la ternura en caricias, palabras y contacto corporal.

Cuando el cerebro se inunda de esta sustancia química, responde mediante la secreción de **dopamina**, un neurotransmisor responsable de los mecanismos de refuerzo del cerebro, de la capacidad de desear algo y de repetir un comportamiento que proporciona placer; **oxitocina**, una hormona que además de estimular las contracciones uterinas para el parto y hacer brotar la leche, parece ser un mensajero químico del deseo sexual; y **norepinefrina**. Este proceso bioquímico se refleja en las sensaciones de euforia, júbilo y excitación, que origina estados de placer y total complacencia con el ser amado.

Investigaciones realizadas a partir de muestras de orina por medio de análisis químico orgánico, en personas con altos niveles de FEA, es decir, enamorados, y personas con bajos niveles de esta misma sustancia, han demostrado que en ocasiones, cuando las relaciones emocionales pasan de estados de fascinación constantes a relaciones basadas en hábitos, aumentan los niveles de **endorfinas**, sustancias producidas por el cerebro de forma natural similares a la **morfina**, que generan estados de pasividad.

De igual manera, otras investigaciones han permitido establecer que las personas con insuficiencia de la hipófisis cerebral pueden, infortunadamente, no conocer en toda su vida el amor, circunstancia que las lleva a construir relaciones duraderas carentes de sensaciones de júbilo, pero cargadas con altas dosis de fidelidad, puesto que son menos enamoradizas y poseen grados superiores de autocontrol sentimental.

La explicación en términos bioquímicos acerca del "se acabó el amor" toma sentido en el momento en que el cerebro no resiste la acción intensa y prolongada de la FenilEtilAmina (FEA), e inicia la regulación de la concentración de esta sustancia, disminuyendo drásticamente su producción.

Este análisis ha permitido a diversos especialistas cuantificar aproximadamente la duración del proceso de enamoramiento. Al parecer, desde la primera alarma de fascinación por el ser amado hasta el primer síntoma de indiferencia hacia la pareja, transcurre un período comprendido entre 18 a 36 meses; luego de este período pueden ocurrir dos situaciones: por un lado, se genera un rompimiento en la relación; por el otro, se establece una relación basada en la monotonía y la cotidianidad.

Adaptado de *Bioquimia*, México, enero-marzo, 2003, volumen 28, número 1.



▲ El análisis químico orgánico en la interpretación de estados emocionales.

Reflexiono sobre lo leído...

- Teniendo en cuenta la lectura anterior, escribe tres preguntas relacionadas con la temática.
- ¿Qué tipo de sustancias se encuentran presentes en los procesos bioquímicos del enamoramiento?
- ¿Cómo influye el trabajo interdisciplinario en la resolución de un problema?

Fortalezco mis valores...

- ¿Cómo controlo mis emociones y relaciones de pareja?
- ¿Qué elementos son indispensables en una relación de pareja basada en el respeto?



¿Cómo extraer el ADN?

En 1977, se descubrió un método para determinar la secuencia de bases nitrogenadas en cadenas de ADN. El primer paso en esta investigación fue aislar el ADN, para luego estudiar su composición. En esta práctica aplicaremos un procedimiento para aislar el ADN de una muestra de hígado de pollo.

Conocimientos previos

Ácidos nucleicos: ADN y ARN.

Reactivos

- 10 g de hígado de pollo
- Agua destilada
- Solución de NaCl 2 M
- Dodecil-hidrogenio-sulfato sódico, SDS
- Detergente líquido para vajilla
- Colorante naranja de acridina
- Alcohol etílico

Materiales

- 1 licuadora
- 1 embudo
- 1 pipeta de 10 mL
- 1 agitador
- 2 vasos de precipitados de 250 mL
- 1 trozo de tela, gasa o papel filtro
- 1 probeta de 100 mL
- 1 microscopio
- Arena lavada
- Portaobjetos y cubreobjetos
- Papel absorbente



Experimento 1

Procedimiento

1. Mezcla en la licuadora 10 g de hígado con 50 mL de agua destilada.
2. Filtra varias veces la mezcla anterior, y adiciona un volumen igual de solución de cloruro de sodio al filtrado.
3. Agrega 1 mL de SDS o 1 mL de detergente líquido de uso doméstico. Agita suavemente y observa los resultados.
4. Adiciona 50 mL de alcohol etílico. Observa la interfase donde se encuentra el ADN.
5. Introduce un agitador y remueve en la misma dirección. Observa cómo se van adhiriendo al agitador unas fibras blancas, que corresponden al ADN.
6. Coloca algunas de estas fibras sobre un portaobjetos. Añade 1 gota de naranja de acridina y espera 3 minutos. Elimina el exceso de colorante con un pedazo de papel absorbente. Cubre la muestra con una laminilla y observa a través del microscopio con el objetivo de 100 de aumento. Describe tus observaciones.



Análisis de resultados

1. ¿Para qué se licúa el hígado de pollo?
2. ¿Qué función cumple el cloruro de sodio?
3. ¿Cuál es la función del SDS o del detergente?
4. ¿Qué diferencias existen entre el ADN y el ARN?



¿Cómo determinar la presencia de vitamina C en algunos alimentos?

Las **vitaminas** son compuestos orgánicos de naturaleza química diversa y que se requieren en pequeñas cantidades para garantizar el buen funcionamiento del organismo. Estos micronutrientes cumplen funciones muy importantes en la regulación de procesos vitales, en especial en aquellos que involucran **sistemas enzimáticos**. La vitamina C, por ejemplo, es muy importante en la prevención de enfermedades. En la presente práctica, determinarás la presencia de esta vitamina en algunos alimentos.

Conocimientos previos

Propiedades de las vitaminas.

Reactivos

- Almidón
- Reactivo de Lugol
- Tabletas de vitamina C
- Jugos de naranja, limón, zanahoria, tomate y durazno

Materiales

- 1 gradilla
- 6 tubos de ensayo
- 1 balanza
- 1 espátula
- 2 pipetas graduadas de 10 mL
- Tapones de caucho

Experimento 1

Procedimiento

1. Prepara una solución de almidón disolviendo 0,5 g en 10 mL de agua.
2. En un tubo de ensayo, vierte 2 mL de solución de almidón y 1 mL de Lugol. Adiciona media tableta de vitamina C. Observa lo que ocurre. La decoloración de la mezcla indica la presencia de vitamina C. El resultado te servirá como patrón de referencia.
3. En cinco tubos de ensayo debidamente marcados, vierte 2 mL de solución de almidón y 1 mL de Lugol. Adiciona unas gotas de naranja al primer tubo, unas gotas de jugo de limón al segundo, 1 mL de jugo de tomate al tercero, 1 mL de jugo de zanahoria al cuarto y 1 mL de jugo de durazno al quinto.
4. Observa los cambios de coloración en cada uno de los tubos y registra los resultados en la siguiente tabla.

Jugo de frutas	Color natural	Cambio en la coloración
Naranja		
Limón		
Tomate		
Zanahoria		
Durazno		



Análisis de resultados

1. ¿Qué alimentos de los empleados en esta práctica contienen vitamina C?
2. ¿Cuáles consecuencias tiene la escasez y el exceso de vitamina C en el organismo?
3. ¿Qué otras vitaminas están presentes en los alimentos utilizados?
4. ¿Qué vitaminas debes consumir en tu dieta alimentaria?
5. ¿A qué se debe el cambio de color en los jugos naturales?



¿Cómo extraer la cafeína?

La **cafeína** es un alcaloide que se encuentra en un gran número de plantas, tales como el café, el té y la nuez de cola, semilla utilizada en la elaboración de gaseosas. La cafeína presente en estas sustancias es un alcaloide de la familia de las xantinas, y es estimulante del sistema nervioso central. En este laboratorio evidenciarás el proceso para extraer la cafeína de una bebida gaseosa.

Conocimientos previos

Propiedades físicas y químicas de los alcaloides.

Reactivos

- Carbonato de sodio
- Diclorometano
- 1 gaseosa cola en lata

Materiales

- 1 Erlenmeyer de 500 mL
- 1 probeta de 200 mL
- 1 embudo de decantación
- 1 vaso de precipitados de 50 mL
- 1 vaso de precipitados de 500 mL
- 1 cápsula de porcelana
- 1 vidrio de reloj
- 1 espátula
- 1 mechero
- 1 malla de asbesto
- 1 trípode
- Indicador universal o pH-metro
- Hielo

Experimento 1

Procedimiento

1. Vierte la mitad del volumen de la bebida gaseosa en un Erlenmeyer de 500 mL y determina su pH con el indicador universal o pH-metro.
2. Adiciona, poco a poco, carbonato de sodio hasta neutralizar la bebida.
3. Agrega 20 mL de diclorometano y agita suavemente durante cinco minutos.
4. Deposita la mezcla en un tubo de decantación, y separa el líquido incoloro del fondo del recipiente. Puedes recolectar el vaso de precipitados de 500 mL. Este líquido contiene diclorometano y cafeína.



5. Evapora lentamente la mezcla obtenida hasta reducir su volumen en 10 mL aproximadamente.
6. Vierte el producto obtenido en la cápsula de porcelana y continúa evaporando lentamente hasta completar el proceso.
7. Retira la cápsula de porcelana del fuego y cúbreala rápidamente con un vidrio de reloj que contiene un cubo de hielo. Espera unos minutos y observa la cristalización de la cafeína.

Análisis de resultados

1. ¿Cómo actúa la cafeína en el sistema nervioso central?
2. ¿Cuál es la estructura de la cafeína?
3. ¿Qué función cumple el diclorometano en este procedimiento?
4. ¿Cómo se puede extraer la cafeína de las hojas de té?
5. ¿Qué consecuencias produce el consumo de estimulantes en el sistema nervioso central?



¿Cómo preparar bases para los principios activos de algunos fármacos?

Un gran número de medicamentos contiene sustancias liposolubles como **principios activos**. Por esta razón, estas drogas se preparan diluyendo el principio activo en una mezcla de diversos componentes, entre los cuales se encuentran la glicerina, la vaselina y el aceite mineral. Muchas de estas bases para medicamentos presentan compuestos solubles en medios apolares, como agua o compuestos iónicos. Por esto, durante su preparación se debe proceder con mucho cuidado, calentando y agitando constantemente.

Conocimientos previos

Mecanismos de acción de los fármacos.

Reactivos

- Aceite mineral
- Vaselina
- Parafina
- Lanolina
- Colorante liposoluble
- Principio activo de un medicamento: aspirina, mentol o xilocaína

Materiales

- 2 vasos de precipitados de 100 mL
- 1 agitador
- 1 trípode
- 1 malla de asbesto
- 1 mechero
- 1 balanza
- 1 frasco pequeño de boca ancha
- 1 espátula

Experimento 1

Procedimiento

1. Calienta suavemente un vaso de precipitados, y deposita en él 35 g de aceite mineral, 50 g de vaselina, 10 g de parafina y 5 g de lanolina. Debes obtener 100 g de mezcla.
2. Agrega una pequeña cantidad de colorante liposoluble y agita continuamente hasta que el color de la mezcla sea homogéneo.



3. Para la preparación de la base medicada adiciona un principio activo como: aspirina, mentol o xilocaína. Agita la mezcla hasta que enfríe.
4. Pasa el producto a un frasco pequeño de boca ancha y déjalo destapado hasta que adquiera la temperatura ambiente. Rotula con el nombre y la fecha de preparación.
5. Controla periódicamente el olor, la humedad y la presencia de microorganismos.

Análisis de resultados

1. ¿Qué características físicas y químicas deben presentar las bases para su incorporación a los medicamentos?
2. ¿Qué función cumple la lanolina en la elaboración de la base?
3. ¿Qué es un principio activo?
4. ¿Cómo actúan los medicamentos en nuestro cuerpo?
5. ¿Conoces otros principios activos? Escribe su nombre comercial.

PROYECTOS CIENTÍFICOS ESCOLARES

Los proyectos científicos escolares (PCE) son una propuesta alternativa para generar conocimiento a partir de investigaciones científicas realizadas en el contexto escolar desde una **perspectiva interdisciplinar**. Esta propuesta, además de fortalecer los saberes adquiridos en el aula de clases, despierta el **interés y la curiosidad** por el mundo de la ciencia y de la tecnología, fortalece **actitudes científicas**, como el **respeto por la diferencia, el trabajo en equipo y la responsabilidad** frente a los compromisos asumidos. Lo antes mencionado se refleja en las vivencias de quienes participan activamente en estos procesos, e incide de manera favorable en sus formas de ver el mundo.

La química, como ciencia experimental, hace parte de todo ese universo por explorar, donde las situaciones problemáticas permiten la construcción de proyectos científicos escolares que reflejan las necesidades de los contextos y se consolidan como propuestas que brindan posibles soluciones. En esencia, se esperaría que el desarrollo de todo PCE fomentara los aspectos de:



- Innovación
- Creatividad
- Impacto
- Aplicaciones
- Imaginación
- Investigación

¿Cómo formular un proyecto científico escolar?

La formulación de todo proyecto científico escolar, en este caso de química, incluye los siguientes elementos:

- Una **idea** que surge por un interés particular o por la necesidad de resolver una problemática asociada con temas propios de la ciencia, el medio ambiente y la tecnología.
- Una **sustentación** acerca del impacto real del proyecto de investigación de acuerdo con los elementos propios del contexto.
- Unos **objetivos**, tanto generales como específicos, que permitan focalizar el desarrollo del proyecto.
- Una **planeación** detallada de las actividades programadas y su registro en cronogramas con fechas y compromisos concretos.
- Una **fundamentación** teórica, profunda y compleja, con el fin de orientar adecuadamente el trabajo experimental. Esta fundamentación no se realiza solo al inicio del proyecto, sino que es básica como análisis permanente en el transcurso de la investigación.
- Un **trabajo experimental** coherente con los fundamentos teóricos, los objetivos y las necesidades por resolver con el proyecto de investigación. El trabajo experimental, al igual que la fundamentación teórica, se desarrolla de manera constante en la investigación. Así mismo, es fundamental llevar registros detallados que permitan sustentar los resultados del proyecto al finalizar el proceso de investigación.
- La **sistematización** adecuada de la información obtenida en el transcurso de la investigación. Aquí se referencian los datos, la ejecución y escritos producidos durante todo el proceso.



¿Cuáles son las etapas de un proyecto científico escolar?

Etapa 1. Creación

Esta etapa fomenta la creatividad e imaginación en los participantes del proyecto.

Es útil generar estrategias como la lluvia de ideas con el fin de seleccionar un proyecto que responda a la curiosidad y fortalezca el espíritu científico de todos los participantes. En esta etapa surge la situación problémica, es decir, la **idea**.

Etapa 2. Formulación

La planeación de un proyecto de investigación escolar fortalece las competencias básicas y comunicativas al momento de concretar una idea con argumentos propios del contexto o de los intereses de los participantes. En esta etapa se consolidan los objetivos, el cronograma de actividades, los recursos humanos, físicos y financieros, así como la distribución de funciones del equipo de trabajo.

Etapa 3. Fundamentación teórica

Se trata de una búsqueda minuciosa de la información en diversas fuentes y su posterior análisis en relación con los objetivos y los intereses del proyecto. En esta etapa es fundamental adquirir habilidades en la búsqueda de información, que permitan desarrollar competencias básicas en interpretación y análisis de textos y gráficas. Se recomienda realizar una búsqueda de información tanto en fuentes primarias, como entrevistas, y fuentes secundarias, como libros, revistas e Internet.

Etapa 4. Trabajo experimental

La parte experimental es el centro de los proyectos científicos escolares por cuanto aplica los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos en el desarrollo del curso de química. En esta etapa es fundamental el acompañamiento por parte de los docentes y el registro de los resultados obtenidos.

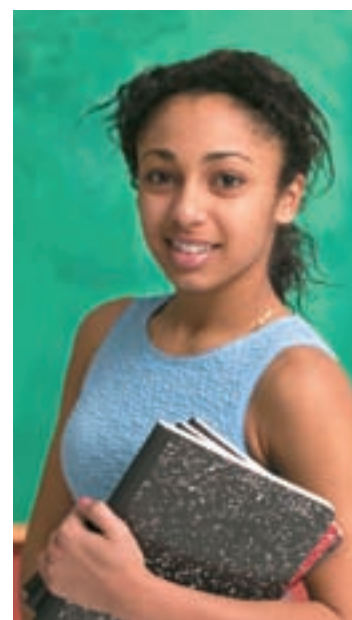
Etapa 5. Consolidación de resultados

Esta es una etapa de reflexión y análisis en la cual los participantes del proceso de investigación aprenden tanto de los éxitos como de los resultados inesperados de la etapa experimental. Se trata de un análisis profundo acerca del desarrollo del proyecto con el fin de establecer conclusiones, sistematizar resultados, reflexionar acerca de los aprendizajes y proponer estrategias para el desarrollo de nuevos proyectos relacionados con la temática abordada.

Etapa 6. Divulgación

La socialización de experiencias y aprendizajes fruto de un proceso de investigación escolar, permite el intercambio de saberes y el fortalecimiento de las competencias comunicativas básicas cuando se realizan presentaciones en público o en el diseño de materiales audiovisuales como afiches, periódicos escolares, carteleras, entre otros. El objetivo de esta etapa es difundir a la comunidad en general, el impacto social real del proceso de investigación.

A continuación encontrarás algunas ideas para desarrollar proyectos científicos escolares.



PROYECTO 1 Bebidas gaseosas

IDEA

¿Cómo fabricar las gaseosas?

Fundamentos para la formulación

Las bebidas carbonatadas o gaseosas son productos del desarrollo de la industria de alimentos en el siglo XX. La primera bebida carbonatada comercialmente exitosa fue la Coca Cola, sintetizada en 1886 por el farmacéutico John Pemberton en Estados Unidos. La Coca Cola originalmente era un jarabe vecinal que al ser carbonatado, es decir, al inyectarle gas carbónico (CO_2) a presión para mejorarle el sabor, se transformó en una bebida agradable por la sensación de burbujeo que produce en el paladar.

Los ingredientes que se agregan a las gaseosas son:

Saborizantes: para proporcionar el sabor característico de cada producto. Pueden ser naturales o artificiales.

Edulcorantes: el rango de azúcar en una bebida gaseosa oscila entre 5% y 14%; similar al contenido en un vaso de jugo natural de piña o de naranja.

Estas bebidas normalmente se endulzan con sacarosa o con jarabe de maíz de alta fructosa.

Acidulantes: además de actuar como preservantes, proporcionan a las bebidas gaseosas el sabor levemente ácido similar al de los jugos de frutas.

Los más utilizados son el ácido cítrico y el ácido fosfórico, en el caso de las bebidas tipo cola.

Aditivos: estas sustancias le otorgan el aspecto que caracteriza a las bebidas gaseosas y las preserva de efectos químicos como las oxidaciones y efectos biológicos como los microorganismos.

Dióxido de carbono: es un gas inodoro e incoloro que aporta el burbujeo característico a las bebidas carbonatadas. Cuando se abre una lata o se destapa una botella de gaseosa, el sonido que se produce evidencia un leve escape de este gas por el sorpresivo cambio de presión que se experimenta. Esta sustancia se añade al final del proceso de fabricación de las bebidas, previo al sellado de los envases.

Como fuente de dióxido de carbono se puede emplear para los proyectos escolares hielo seco de grado alimenticio, el cual se agrega directamente a la bebida para carbonatarla.

A partir de esta temática, es posible diseñar proyectos científicos escolares en relación con la fabricación de bebidas carbonatadas bajo condiciones adecuadas de higiene y asepsia en la institución educativa; para ello es indispensable el uso de agua potable y aditivos en alimentos permitidos para el consumo humano.

Resultados esperados

Los proyectos científicos escolares de fabricación de bebidas carbonatadas deberán lograr:

- Carbonatar bebidas, empleando aditivos para alimentos.
- Interpretar los principios fisicoquímicos presentes en la fabricación de bebidas carbonatadas.



En la fabricación de las gaseosas se emplean aditivos para alimentos, como colorantes, saborizantes y aromas artificiales. Estas sustancias son producto de la síntesis orgánica moderna.

Consulta en Internet la información necesaria para establecer estrategias en la fabricación de bebidas carbonatadas. Para ello, sugerimos los siguientes términos clave:

- Fabricación de bebidas carbonatadas
- Historia de las bebidas carbonatadas
- Uso del gas carbónico en las bebidas carbonatadas

Investigación en la red

PROYECTO 2 Química de la belleza

IDEA

¿Cómo fabricar cosméticos?

Fundamentos para la formulación

La cosmética es la industria que investiga, desarrolla y elabora productos encargados de acentuar la belleza del cuerpo humano. La historia de los cosméticos es muy antigua y se remonta a la civilización egipcia, en la cual se inició la fabricación de cosméticos como un oficio importante dentro de la sociedad. En la actualidad, los productos cosméticos son empleados de forma masiva por un sector económico muy fuerte en la sociedad.

La cosmética ha evolucionado del empirismo a una disciplina totalmente científica y tecnológica basada en áreas como: la química, la física, la biología, la anatomía, la fisiología y la farmacia. Por ello, los profesionales como químicos, médicos, ingenieros industriales, ingenieros químicos y químicos farmacéuticos participan en la fabricación de cosméticos.

Labiales, polvos faciales, delineadores, mascarillas, geles y tintes para el cabello son solo algunos productos que hacen parte de la variedad de cosméticos que se pueden adquirir fácilmente en el comercio. Sin importar la diversidad de este tipo de productos, su fabricación se rige por principios comunes de procesos químicos que conllevan la formación de sistemas coloidales como suspensiones, emulsiones, soluciones, mezclas, geles aerosoles y soles.

La formulación de proyectos científicos escolares que incluya esta temática, relaciona conocimientos tanto de química inorgánica como de química orgánica. Sin embargo, es importante reflexionar que todo producto cosmético entra en contacto con el cuerpo humano y su fabricación es un proceso industrial muy estricto que garantiza la inocuidad de los productos en el aspecto microbiológico. Por ello, los productos cosméticos elaborados a nivel escolar deben ser de carácter demostrativo, con el fin de ilustrar y demostrar las aplicaciones de la química en un contexto industrial real.



Nefertiti. El maquillaje mejora la belleza

Resultados esperados

Se esperaría como resultado de los proyectos científicos escolares relacionados con la fabricación de algunos cosméticos sencillos:

- La fabricación de champú con aromas diferentes
- La elaboración de labiales de distintas tonalidades
- La producción de pestañina
- La fabricación de crema humectante para manos
- La producción de talcos desodorantes
- La elaboración de crema de afeitar
- La preparación de polvos faciales
- La preparación de gel para el cabello

Investigación en la red

Consulta en Internet la información necesaria para establecer las estrategias utilizadas en la fabricación de cosméticos. Para ello, te sugerimos los siguientes términos clave:

- Formulación de cosméticos
- Fabricación de cold cream
- Fabricación cosméticos fisiología de la piel
- Buenas prácticas de manufactura de cosméticos
- Alergias a los cosméticos
- Microbiología de los cosméticos

PROYECTO 3 Extractos vegetales

IDEA

¿Qué aplicaciones tiene la química de productos naturales en la medicina?

Fundamentos para la formulación

La farmacia vegetal o de productos naturales es un área de la química farmacéutica encargada de la investigación, el desarrollo y la producción de medicamentos a partir de materias primas obtenidas de plantas o de animales con propiedades medicinales. El uso de las plantas medicinales y sus productos derivados ha tomado fuerza en las últimas décadas, como una respuesta generalizada a retomar las opciones terapéuticas que nos ofrece la naturaleza. La investigación de plantas medicinales es particularmente importante en países de Suramérica debido a la biodiversidad y el potencial enorme de encontrar nuevas plantas medicinales en este espacio geográfico. Por ello, sugerimos formular varios proyectos científicos escolares encaminados a la obtención, identificación y caracterización de extractos vegetales de las principales plantas medicinales empleadas en la comunidad donde se desarrollan los proyectos.

La importancia de la investigación y uso de plantas medicinales ha sido reconocida en todo el mundo incluso por entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual ha realizado campañas con énfasis en el uso de plantas medicinales y sus beneficios en la salud pública.

Una parte fundamental de estos proyectos científicos escolares es la obtención de extractos vegetales por medio de análisis fotoquímico, el cual permite identificar los principios activos responsables de sus efectos farmacológicos. Es indispensable consultar acerca de las propiedades, el análisis, la identificación y el aislamiento de los siguientes grupos de principios activos vegetales: alcaloides, terpenos, lactosas, cumarinas, fitoesteroles y taninos.

Para iniciar este proyecto, sugerimos emplear las siguientes plantas de uso común: caléndula, hierbabuena, manzanilla, stevia, romero, tomillo, canela, nuez moscada, ajo, eucalipto, apio, menta, diente de león, valeriana, sábila, eneldo, boldo, sen, ruibarbo, helecho macho.

Resultados esperados

Con los proyectos científicos escolares de fotoquímica se esperaría que los estudiantes alcancen los siguientes logros:

- Obtener extractos vegetales por cromatografía en papel.
- Coleccionar las principales plantas medicinales empleadas en el contexto local, para formar un herbario escolar acompañado de fichas técnicas de sus propiedades farmacológicas y terapéuticas.

Investigación en la red

Consulta en Internet la información necesaria para diseñar proyectos científicos escolares relacionados con la fotoquímica. Para ello, sugerimos los siguientes términos clave:

- Obtención de extractos vegetales
- Fitoquímica
- Plantas medicinales
- Metabolitos secundarios de fitoquímica

De igual manera, en la actualidad existen diversos grupos de investigación que están desarrollando estudios de productos naturales.



La maceración es una técnica empleada para la obtención de extractos vegetales.

PROYECTO 4 Derivados lácteos

IDEA

¿Cómo fabricar derivados lácteos de calidad?

Fundamentos para la formulación

La leche es un coloide secretado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, y su finalidad es alimentar a las crías durante el período de lactancia. Es un alimento altamente nutritivo, rico en carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales. La leche bovina es la materia prima de las industrias de los derivados lácteos, como la mantequilla, el kumis, el yogur, los helados y los quesos.

La composición química de la leche es muy compleja, sin embargo, a continuación mencionaremos algunas de las sustancias presentes en este alimento:

Lactosa: disacárido formado por glucosa y galactosa.

Caseína: proteína que, al coagularse, es la materia prima en la elaboración de la cuajada y los quesos.

Minerales de calcio: útiles como suplemento de calcio en la alimentación, principalmente durante el crecimiento.

Vitaminas: como la A, D, E, C, tiamina, riboflavina, biotina, B₆ y B₁₂.

Enzimas: como la lipasa, proteasa, fosfatasa alcalina, catalasa, lactoperoxidasa y xantina oxidasa. Estas enzimas deben ser inactivadas durante los procesos de tratamiento de la leche para evitar alteraciones en la calidad de la misma por fenómenos de degradación enzimática.

Lípidos: se encuentran en dispersión miscelar; cuando se extraen, son la materia prima en la elaboración de la mantequilla.

La química de la fabricación de derivados lácteos es muy interesante debido a la diversidad de procesos involucrados.

Te invitamos a formular proyectos científicos escolares encaminados a fabricar derivados lácteos como:

Yogur y kumis: a partir de la inclusión de bacterias que poseen la capacidad de fermentar la lactosa, por ejemplo, lactobacilos.

Quesos: coagulando la caseína por acción de la enzima renina presente en el cuajo. Existen muchas técnicas de fabricación de quesos que se pueden elaborar en la casa.

Mantequilla: por extracción de los lípidos a través de la agitación fuerte de la leche. La mantequilla fresca debe ser sometida a tratamientos que evitan su oxidación.

Como parte complementaria en el diseño de este tipo de proyectos, es posible realizar visitas a industrias de alimentos relacionadas con derivados lácteos, esto con el fin de relacionar los procesos industriales con los procesos de fabricación casera.



En la industria de los derivados lácteos se elaboran gran variedad de quesos.

Resultados esperados

A través del desarrollo de proyectos científicos escolares relacionados con esta temática, se esperaría:

- Fabricar de forma casera derivados lácteos.
- Interpretar la bioquímica implicada en los procesos de la elaboración de los productos lácteos.

Investigación en la red

Consulta en Internet la información necesaria para establecer las estrategias en la fabricación de derivados lácteos. Para ello, sugerimos los siguientes términos clave:

- Fabricación casera de kumis
- Fabricación casera de quesos
- Fabricación casera de helados

IDEA

¿Cómo fabricar perfumes?

Fundamentos para la formulación

El aroma de los perfumes ha estado presente en todas las culturas. Por ejemplo, en el antiguo Egipto era común extraer, por infusión de maderas y resinas, los perfumes de olores intensos, que utilizaban sus habitantes en los ritos religiosos. También eran usados aceites perfumados y ungüentos con fines medicinales y cosméticos. Para obtenerlos mezclaban semillas con sustancias vegetales que, pulverizadas y mezcladas con un aceite vegetal o una grasa animal, absorbían los compuestos responsables del aroma presente en flores y resinas.

Los griegos incrementaron el empleo de sustancias perfumadas, las cuales fueron utilizadas ampliamente para el baño corporal. Con la invención del alambique, en Arabia se incorporó al arte de la perfumería el empleo de alcohol y extractos vegetales destilados. El arte de la perfumería rápidamente se difundió por toda Europa y Asia, principalmente en el siglo XV, y los perfumes se vendían en mercados ambulantes, aunque su uso seguía siendo un privilegio de las cortes, los palacios y las personas adineradas.

Durante la Revolución industrial, la perfumería comenzó a tener la fuerza comercial que conocemos en la actualidad, y lo que fue por siglos un arte se transformó en ciencia y tecnología.

Actualmente las industrias de perfumería emplean los desarrollos de la química de aromas y los conocimientos de la fisiología del sentido del olfato para la creación de nuevos perfumes. En términos generales, la composición de un perfume es la siguiente:

Compuestos del aroma: son mezclas de sustancias orgánicas naturales o sintéticas que estimulan el olfato humano. En un perfume pueden existir mezclas hasta de 300 compuestos diferentes.

Vehículos: es una mezcla de solventes orgánicos, como alcoholes o aceites, que disuelven los compuestos del aroma.

Fijadores: son compuestos orgánicos que ayudan a retener o fijar el aroma del perfume sobre la piel o la ropa.

Con la formulación de proyectos científicos escolares relacionados con esta temática es posible fabricar diferentes clases de perfumes, empleando compuestos aromáticos sintéticos o naturales, como extractos vegetales de plantas aromáticas. Una opción interesante es desarrollar proyectos que permitan la extracción de aceites esenciales de plantas como el clavo, la naranja, la canela, el pino, o el eucalipto, por medio de la destilación por arrastre de vapor. Los aceites esenciales obtenidos pueden ser mezclados con otros compuestos aromáticos para formular perfumes.



Los perfumes en la actualidad tienen gran demanda comercial.

Resultados esperados

Con la formulación de proyectos científicos escolares de perfumería se esperaría:

- Elaborar perfumes sencillos a partir de formulaciones encontradas en libros especializados de perfumería.
- Obtener aceites esenciales de plantas mediante la técnica de la destilación por arrastre de vapor.
- Realizar paneles sensoriales como exposición interactiva del sentido del olfato y la memoria olfativa.

Investigación en la red

Consulta en Internet la información relacionada con la perfumería. Para ello, sugerimos los siguientes términos clave:

- Historia de los perfumes
- Química de aromas
- Fabricación casera de perfumes
- Fisiología del sentido del olfato

PROYECTO 4 Pigmentos vegetales

IDEA

¿Cuál es la aplicación de los pigmentos vegetales en la tinción de fibras textiles?

Fundamentos para la formulación

La tinción de textiles con extractos vegetales es un oficio artesanal de gran tradición en los países latinoamericanos. Varios grupos prehispánicos emplearon tintes vegetales para colorear tejidos muy variados; lamentablemente, la incursión de colorantes sintéticos y técnicas modernas de tinción ha relegado esta tradición artesanal que hace parte del patrimonio cultural. Actualmente diversos artesanos están desarrollando nuevas técnicas encaminadas a la extracción de pigmentos vegetales con el fin de emplearlos en la tinción de textiles de algodón.

A continuación, se mencionan algunas plantas de uso común para obtener pigmentos:

Planta	Parte tintórea
Eucalipto	Corteza y hojas
Roble	Corteza seca y hojas
Lengua de vaca	Toda la planta
Cebolla cabezona	Cáscaras secas
Helecho macho	Hojas
Achiote	Semillas



Muestra de plantas vegetales útiles para la tinción.

Para que los tintes vegetales se fijen a las fibras de algodón, es necesario utilizar sales de aluminio, como el alumbre, las cuales generan unión química fuerte entre los compuestos coloreados de la planta y las fibras de algodón, impidiendo que estas se decoloren al ser lavadas. A este proceso se le denomina *mordentado de fibras*.

Esta propuesta es una invitación para la formulación de proyectos científicos escolares relacionados con esta temática, donde es posible extraer tintes vegetales y utilizarlos para dar color a telas o prendas de vestir fabricadas con algodón.

Resultados esperados

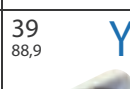
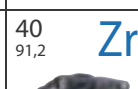
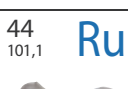
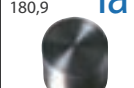
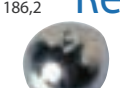
Con la formulación de proyectos científicos escolares de tinción con pigmentos vegetales se esperaría:

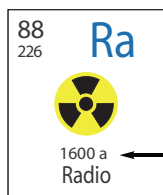
- Extraer por medio de diferentes técnicas los pigmentos característicos de cierta variedad de plantas.
- Teñir fibras de algodón empleadas posteriormente en la elaboración de diversos productos textiles.
- Incursionar en nuevas técnicas de tinción de fibras, permitiendo la construcción de proyectos a fin de obtener productos en el ámbito escolar.

Investigación en la red

Consulta en Internet la información relacionada con el teñido de fibras de algodón empleando extractos vegetales. Para ello, te sugerimos los términos clave:

- Tinción con plantas
- Achiote tintorería
- Mordentado de fibras
- Extractos vegetales tintóreos
- Tintes vegetales
- Tinturado de fibras de algodón
- Alumbre

GRUPO		1	2	3	4	5	6	7	8
Configuración electrónica		s ¹	s ²	d ¹	d ²	d ³	d ⁴	d ⁵	d ⁶
ORBITALES	PERÍODO	I A							
1 s	1	1 1,0  H Hidrógeno	Número atómico → 20 Masa atómica → 40,1  Ca Calcio Símbolo Nombre						
2s 2p	2	3 6,9  Li Litio	4 9,0  Be Berilio	II A					
3s 3p	3	11 23,0  Na Sodio	12 24,3  Mg Magnesio						
4s 3d 4p	4	19 39,1  K Potasio	20 40,1  Ca Calcio	21 45,0  Sc Escandio	22 47,9  Ti Titanio	23 50,9  V Vanadio	24 52,0  Cr Cromo	25 54,9  Mn Manganeso	26 55,8  Fe Hierro
5s 4d 5p	5	37 85,5  Rb Rubidio	38 87,6  Sr Estroncio	39 88,9  Y Itrio	40 91,2  Zr Circonio	41 92,9  Nb Niobio	42 95,9  Mo Molibdeno	43 97,9  Tc 4,2 · 10⁶ a Tecnecio	44 101,1  Ru Rutenio
6s 4f 5d 6p	6	55 132,9  Cs Cesio	56 137,3  Ba Bario	57 138,9  La Lantano	72 178,5  Hf Hafnio	73 180,9  Ta Tántalo	74 183,8  W Volframio	75 186,2  Re Renio	76 190,2  Os Osmio
7s 5f 6d 7p	7	87 223  Fr 22 min Francio	88 226  Ra 1600 a Radio	89 227  Ac 22 a Actinio	104 261  Rf 65 s Rutherfordio	105 262  Db 34 s Dubnio	106 266  Sg 21 s Seaborgio	107 264  Bh 440 ms Bohrio	108 277  Hs 9,3 s Hassio



Vida media
del isótopo
más estable.

a: año
d: día
h: hora

min: minuto
s: segundo
ms: milisegundo

LANTÁNIDOS

ACTÍNIDOS

PERÍODO	f ¹	f ²	f ³	f ⁴	f ⁵
6	58 140,1  Ce Cerio	59 140,9  Pr Praseodimio	60 144,2  Nd Neodimio	61 145  Pm 18 a Prometio	62 150,3  Sm Samario
7	90 232,0  Th 1,4 · 10 ¹⁰ a Torio	91 231,0  Pa 3,3 · 10 ⁴ a Protactinio	92 238,0  U 4,5 · 10 ⁹ a Uranio	93 237  Np 2,1 · 10 ⁶ a Neptunio	94 244  Pu 8,0 · 10 ⁷ a Plutonio

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
d ⁷	d ⁸	d ⁹	d ¹⁰	p ¹	p ²	p ³	p ⁴	p ⁵	p ⁶
				No metales					
				Metales					
				Gases nobles					
				III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
				5 10,8 B Boro	6 12,0 C Carbono	7 14,0 N Nitrógeno	8 16,0 O Oxígeno	9 19,0 F Flúor	2 4,0 He Helio
				13 27,0 Al Aluminio	14 28,0 Si Silicio	15 31,0 P Fósforo	16 32,1 S Azufre	17 35,5 Cl Cloro	10 20,1 Ne Neón
									18 39,9 Ar Argón
									36 83,8 Kr Kriptón
									54 131,3 Xe Xenón
									86 222 Rn Radón
				</					

A

Acetal: tipo de compuesto orgánico formado por la adición de un alcohol a un aldehído. La adición de una molécula de alcohol origina un hemiacetal. Adiciones subsiguientes originan el acetal completo.

Acetilcolina: sustancia química que actúa como neurotransmisor y se encuentra en la mayoría de las sinapsis o puntos donde una célula nerviosa hace contacto con otra.

Ácido graso: ácido carboxílico de cadena larga. Frecuentemente forma parte de lípidos saponificables.

Acilación: introducción de un grupo acilo (—COR) dentro de una molécula.

Actividad óptica: propiedad de ciertos compuestos para rotar el plano de vibración de un haz de luz polarizada cuando esta pasa a través de ellos.

Adsorción: proceso mediante el cual una capa de átomos o moléculas de una sustancia se fija en la superficie de un sólido o líquido.

Aldosa: denominación empleada para señalar a un azúcar que contiene un grupo aldehído (CHO). Ejemplo: la glucosa y la galactosa.

Alifático: compuesto orgánico de cadena larga, no cíclica.

Alotropía: propiedad que tienen algunos elementos de existir en más de una forma física. Ejemplo: azufre rómbico y azufre monoclínico.

B

Base de Lewis: sustancia que dona un par de electrones para formar un enlace coordinado.

C

Carbanión: carbono aniónico o sustancia que contiene un átomo de carbono trivalente, cargado negativamente.

Carbocatión: carbono o sustancia que contiene un átomo de carbono trivalente, cargado positivamente.

Carbonización: convertir un compuesto orgánico a carbono por oxidación incompleta a temperatura elevada.

Carga formal: exceso o defecto de electrones en un átomo dado, con respecto a su constitución electrónica en estado fundamental.

Catalizador: especie química que altera la velocidad de una reacción y que se regenera una vez terminada.

Ceras: mezclas de ésteres de ácidos carboxílicos y alcoholes de cadena larga.

Cetosa: denominación utilizada para denotar a un azúcar que contiene un grupo cetónico (—CO—). Ejemplo: la fructosa.

Codón: tripleta de bases nucleótidas que codifica un aminoácido.

Colorante azoico: se refiere a un tipo de colorante utilizado en tinturas ácidas para telas y algodón.

Conformación: forma que adopta una molécula como resultado de la rotación normal de sus átomos o grupos atómicos alrededor de un enlace simple. Ejemplo: conformación de silla, de bote, eclipsada o escalonada, etc.

Cromóforo: grupo de átomos que en una molécula se consideran responsables del color del compuesto.

D

Desnaturalización: alteración de las estructuras terciaria y cuaternaria de una proteína o un ácido nucleico, por acción del calor, de un cambio en el pH o de un agente químico.

Destrógiro (α): comportamiento óptico de una molécula quiral, en el cual, esta hace girar el plano de la luz polarizada un cierto ángulo α , hacia la derecha.

Diastereoisómero: estereoisómero de una molécula, que no es la imagen especular de otros estereoisómeros de la misma molécula.

Dímero: compuesto que se forma por la combinación de dos moléculas de la misma sustancia.

E

Efecto inductivo: acción producida por ciertos grupos químicos, que consiste en atraer (—I) o rechazar (+I) electrones formando enlaces polares.

Elastómero: polímero que tiene la propiedad de estirarse y regresar a su forma original.

Electrófilo: especie química, con carga (parcial o formal) positiva, de manera que es atraído por las especies negativas.

Electroforesis: técnica usada para separar mezclas de moléculas orgánicas, como proteínas y aminoácidos, a partir de la carga de las mismas, bajo un cierto valor de pH.

Enantiómero: sustancia cuya estructura no es superponible con su imagen especular. Esta situación es común entre parejas de isómeros ópticos.

Enzima: proteína de peso molecular comprendidos entre 100.000 y 10.000.000; tiene como función catalizar una reacción bioquímica específica. Ejemplo: amilasa salival.

Esfingolípido: fosfolípido que tiene esfingosina o una dihidroxiamina formando parte de su estructura.

Espectrómetro de masas: instrumento empleado para producir iones en un gas y analizarlos de acuerdo con la relación carga/masa. Los espectrómetros de masa se utilizan actualmente para medidas precisas de masa atómica relativa, en análisis de abundancia de isótopos; también se utilizan para identificar compuestos y analizar mezclas.

Estado fundamental: se conoce también como estado basal. Es la configuración electrónica más estable de un átomo o molécula.

F

Fosfolípido: lípido saponificable que contiene un grupo fosfórico, proveniente de un ácido fosfórico.

Furanosa: monosacárido cuya forma cíclica es de cinco miembros.

G

Gen: unidad de material hereditario localizado en los cromosomas que, por sí mismo o con otros genes, determina las características de un organismo.

H

Heterociclo: compuesto que tiene un anillo con más de una clase de átomos. Por ejemplo, las bases nitrogenadas púricas y pirimídicas corresponden a estructuras heterocíclicas.

Hidrofílico: molécula polar que es afín con el agua y por tanto soluble en ella.

Hidrofóbico: molécula apolar, que es insoluble en agua.

Hidrogenación: adición de uno o más átomos de hidrógeno a una molécula, con lo que esta se satura y se reduce.

I

Imina: compuesto que contiene el grupo (—NH—) donde el átomo de nitrógeno se une con grupos carbonilos y a otros átomos de nitrógeno. Este grupo es característico de las uniones peptídicas en las proteínas.

Isómero: compuesto que resulta de las diferentes formas de agrupar los átomos en una fórmula molecular determinada. Ejemplo: el etanol y el dimetil éter son isómeros de fórmula $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

J

Jabón: compuesto de sodio o potasio de algunos ácidos orgánicos empleado para mejorar las propiedades limpiadoras del agua.

L

Levógiro: comportamiento óptico de una molécula quiral, en el cual, esta hace girar el plano de la luz polarizada un cierto ángulo α , hacia la izquierda.

M

Monosacárido: molécula de azúcar que no se puede hidrolizar a azúcares más simples de menor contenido de carbono. Ejemplo: glucosa, fructosa y ribosa.

Mutación: cambio en una o más bases nitrogenadas en el ADN, produciéndose una proteína anormal.

Mutarrotación: cambio en la rotación óptica de una solución con el tiempo. Ejemplo: la forma α glucosa se convierte en la forma β glucosa.

N

Nucleófilo: especie química, con carga (parcial o formal) negativa, que es atraído por las especies positivas.

Nucleósido: estructura molecular formada por la unión entre una base nitrogenada y un azúcar (ribosa o desoxirribosa).

Nucleótido: estructura molecular formada por la unión entre una base nitrogenada, un azúcar (ribosa o desoxirribosa) y una molécula de ácido fosfórico.

O

Orbital híbrido: orbital derivado de la combinación de varios orbitales atómicos, como en el caso de las hibridaciones sp^3 , sp^2 y sp del carbono.

Orbital molecular: zona del espacio donde hay mayor probabilidad de encontrar un par de electrones que forman parte de un enlace covalente entre dos átomos.

P

Péptido: compuesto formado por varias moléculas de aminoácido, enlazadas mediante el enlace peptídico (—NH—) característico de las proteínas.

Piranos: monosacárido cuya forma cíclica es de seis miembros.

Pirólisis: procedimiento que implica la descomposición de sustancias químicas por medio de altas temperaturas.

Polímero: compuesto formado por la unión de unidades sencillas, generalmente de la misma especie. Ejemplo: el almidón, formado por moléculas de glucosa; las proteínas, macromoléculas formadas por unidades de aminoácidos.

Punto de ebullición: temperatura a la cual la presión de vapor de un líquido es igual a la presión atmosférica.

Punto de fusión: temperatura a la cual un sólido está en equilibrio con su líquido a presión normal.

Q

Quiral: molécula en la cual las imágenes especulares no son superponibles, debido a la presencia de un átomo de carbono quiral o asimétrico.

R

Replicación del ADN: proceso por el cual se hacen copias idénticas de ADN para preservar la información genética.

Resonancia: los electrones de enlace del compuesto tienen una distribución diferente en las moléculas. El enlace verdadero en la molécula puede considerarse como una mezcla de dos o más formas convencionales de la molécula denominadas estructuras de resonancia o formas canónicas. Uno de los casos más evidentes se encuentra en la estructura del benceno.

Resonancia magnética nuclear (RMN): método empleado para investigar el spin nuclear. Esta es la base de una técnica espectroscópica para investigar la estructura de las moléculas.

T

Traducción: proceso por el cual el ARNm dirige la síntesis de proteínas. El código expresado en el ARNm es leído por el ARN de transferencia.

Transcripción: proceso por el cual se produce ARN para llevar la información genética del núcleo a los ribosomas.

Triol: denominación empleada para una molécula de alcohol que contiene tres grupos hidroxilo (OH). Ejemplo: el propanotriol o glicerina.

BIBLIOGRAFÍA

- AUDESIRK, TERESA.A UDESIRK,GE RALD. *Biología*. México, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., Cuarta edición, 1996.
- BLEI, IRA. ODIAM, GEORGE. *Organic and Biochemistry*. Connecting Chemistry to your life. Nueva York, W.H. Freeman and Company, 2000.
- BOHINSKI, ROBERT C. *Bioquímica*. México, Addison Wesley Iberoamericana S.A., Quinta edición, 1991.
- BONNER, WILLIAM A. CASTRO, ALBERTO J. *Química Orgánica Básica*. Madrid, Editorial Alhambra S.A., Tercera edición, 1974.
- CANDEL, AGUSTÍN. SATOCA, JOSÉ. SOLER, JUAN BAUTISTA. Tent, Juan José. *Física y Química*. Madrid, Ediciones Anaya S.A., 1987.
- CURTIS, HELENA. BARNES, SUE. *Biología*. Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana S.A., Quinta edición, 1993.
- DEVLIN, T.M. *Bioquímica*. Barcelona, Editorial Reverté S.A., 1989.
- DEVORE, G. MUÑOZ, E. *Química Orgánica*. México, D.F., Publicaciones Cultural S.A., 1975.
- GRIFFIN, RODGER JR. *Química Orgánica Moderna*. Barcelona, Editorial Reverté S.A., 1972.
- KICE, JOHN. MARVELL, ELLIOT. *Organic Chemistry*. Nueva York, The MacMillan Company, 1970.
- MCMURRY, J OHN. *Química Orgánica*. Grupo Editorial Iberoamérica, 1994.
- MCMURRY, J OHN. *Química Orgánica*. México, International Thomson Editores, Quinta edición, 2001.
- MEISLICH, HERBERTH. NECHAMKIN, HOWARD. SHAREFKIN, JACOB. HADEMENOS, GEORGE. *Química Orgánica*. Editorial McGraw-Hill latinoamericana S.A., 2001.
- MURRAY, ROBERT. MAYES, PETER. GRANNER, DARYL. RODWELL, VICTOR. *Bioquímica de Harper*. México, Editorial El Manual Moderno S.A., 1997.
- PELCZAR, MICHAEL Y OTROS. *Microbiología*. McGraw-Hill, 1997.
- ROBERTS, JOHN. STEWART, ROSS. CASERIO, MARJORIE. *Química Orgánica: de metano a macromoléculas*. Menlo Park, California, EE.UU., Fondo Educativo Interamericano S.A., 1974.
- ROUTH, JOSEPH. EYMAN, DARRELL. BURTON, DONALD. *Compendio esencial de Química General, Orgánica y Bioquímica*. Barcelona, Editorial Reverté S.A., 1975.
- SHREVE, NORRIS. BRINK, JOSEPH JR. *Chemical Process Industries*. Nueva York, Editorial McGraw-Hill, 1977.
- SIMPSON, ERNEST. HANSCH, CORWIN. HELMKAMP, GEORGE. *An outline of Organic Chemistry*. Nueva York, McGraw-Hill Book Company, 1975.
- SKOOG, DOUGLAS A. Y OTROS. *Química Analítica*. McGraw-Hill, 1997.
- STANSFIELD, WILLIAM D. *Genética*. Bogotá, McGraw-Hill, 1997.
- WHITTEN, KENNETH W. RAYMOND, E. DAVIS. PECK, M. LARRY. *Química General*. España, McGraw-Hill Interamericana de España, Quinta edición, 1998.
- WINGROVE, ALAN S. CARET, ROBERT L. *Química Orgánica*. México, Harper & Row, Publishers, Inc., 1981.

Fuentes de Internet

- **Biografías de científicos**
www.b.cartage.org
- **Consulta con un experto**
www.scato.phys.psu.edu
- **Conversión de unidades** (energía, presión, volumen, temperatura, masa)
www.chemicool.com
- **Elaboración de estructuras**
www.chem.ox.ac.uk
- **Experimentos que fundamentan el modelo estándar del átomo**
www.particleadventure.org
- **Gases ideales**
www.chemicool.com
- **Laboratorio virtual de química**
www.neon.chem.ox.ac.uk
- **La ciencia es divertida**
Anécdotas, experiencias, preguntas...
www.ciencianet.com
- **Más recursos en internet para química**
www.liv.ac.uk
- **Oxidación-reducción: temas completos**
www.naio.kcc.hawaii.edu
- **Premios Nobel de Química desde 1901 hasta el 2001**
www.userpage.chemie.fu-berlin.de
- **Ruta del modelo estándar del átomo**
www.particleadventure.org
- **Solución de problemas de química**
Problemas de gases ideales, leyes de Dalton, número de Avogadro, molaridad
www.hawaii.edu
- **Tablas periódicas**
www.liv.ac.uk
- **Tutor de química**
www.members.nbci.com