

# QUÍMICA ORGÁNICA

UNA PERSPECTIVA PARA CIENCIAS PECUARIAS

**Brito G., Bravo W., Bonilla M.**



Escuela Superior Politécnica de Chimborazo



---

# QUÍMICA ORGÁNICA

## Una perspectiva para Ciencias Pecuarias

---

*Brito Z., G.; Bravo M., W.; Bonilla L., M.*

Abril 2025  
**ESPOCH**

## QUÍMICA ORGÁNICA, UNA PERSPECTIVA PARA CIENCIAS PECUARIAS

© 2025 Brito Z., G.; Bravo M., W.; Bonilla L., M.  
© 2025 Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Copyright 2025 Compañía Editorial  
Reservados todos los derechos.  
© Editorial QUEYÁM Cía. Ltda.  
Pérez de Anda 01-180 y Castillo  
Ambato – Ecuador  
Teléfono: (+593) 96 239 7155  
editorial@queyam.com

### PRIMERA EDICIÓN

ISBN: 978-9942-7337-1-9

Fecha de Publicación: 2025-04-02

### AUTORES:

Guido Gonzalo Brito Zúñiga  
Wilian Marcelo Bravo Morocho  
Marina Leonor Bonilla Lucero  
*Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*

### EQUIPO EDITORIAL

Director: Diego Bonilla Jurado  
Coordinador editorial: Fernanda Núñez Ambato  
Editor Literario: Mónica Culqui Rodríguez  
Diseño y Diagramación: Christian Poaquiza Punina  
Revisores de estilo: Jeannette Zurita López

### REVISORES ACADÉMICOS

**Dr. Hegira Ramírez Padilla, Ph.D.** 

*Ph.D. en Química de Medicamentos, Universidad Central de Venezuela.*

**Mtro. Eduardo Zaragoza Ramos** 

*Maestría en Ciencias con orientación en Biotecnología, Centro Universitario de la Ciénega, Ocotlán, Jalisco.*

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o transmitirse, por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o electroóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin permiso previo por escrito del autor. El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión de uso de este ejemplar requerirá también la autorización del autor o de sus representantes.

## PRÓLOGO

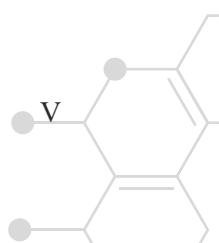
La química orgánica, disciplina fundamental centrada en el estudio de los compuestos de carbono, constituye un pilar esencial para la comprensión de los procesos biológicos y el desarrollo de nuevos materiales. Esta obra, fruto del trabajo colaborativo de académicos expertos de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, presenta una perspectiva moderna y exhaustiva de esta ciencia vital.

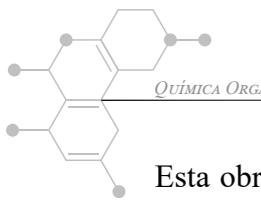
El texto está estructurado para facilitar el aprendizaje progresivo de la química orgánica, comenzando con conceptos fundamentales y avanzando hacia aplicaciones específicas en ciencias pecuarias. Aborda de manera sistemática los principios básicos de estructura molecular, nomenclatura y reactividad química, profundizando en el estudio de grupos funcionales clave como hidrocarburos, alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, aminas y amidas. Además, integra conceptos avanzados de estereoquímica y algunos mecanismos de reacción, esenciales para comprender las transformaciones químicas en sistemas biológicos.

En el contexto de la zootecnia, esta obra resalta la importancia de la química orgánica para entender procesos fundamentales como la digestión, reproducción y metabolismo animal. Su aplicación resulta crucial en la formulación de alimentos balanceados y el desarrollo de productos de origen animal, aspectos fundamentales para la producción pecuaria moderna.

Para la medicina veterinaria, el texto proporciona bases sólidas en farmacología, toxicología y bioquímica clínica, herramientas esenciales para el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades. Este conocimiento permite a los profesionales veterinarios optimizar el uso de fármacos, vacunas y productos biológicos en el cuidado animal.

Los seis capítulos que componen esta obra están alineados con los programas académicos de Zootecnia, Agroindustria y Medicina Veterinaria de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Cada capítulo incluye ejemplos prácticos y problemas resueltos, diseñados para facilitar la aplicación de conceptos teóricos a situaciones reales, fortaleciendo así la comprensión y desarrollando habilidades prácticas.



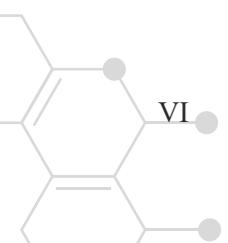


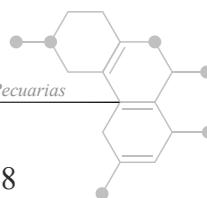
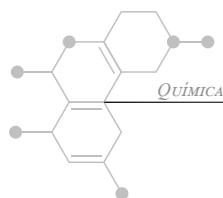
Esta obra representa un recurso invaluable para estudiantes y profesionales de las ciencias pecuarias. La experiencia conjunta de los autores se refleja en una perspectiva integral que combina rigor académico con aplicabilidad práctica, facilitando la asimilación y aplicación de conceptos complejos.

Les invitamos a explorar este texto que no solo servirá como guía académica fundamental, sino que también abrirá las puertas al fascinante mundo de la química orgánica y sus aplicaciones en las ciencias agropecuarias. Su enfoque práctico e integral lo convierte en una herramienta indispensable para la formación y el desarrollo profesional en este campo.

*Guido Gonzalo Brito Zúñiga.  
Wilian Marcelo Bravo Morocho.  
Marina Leonor Bonilla Lucero.*

**Abril 2025**





## CONTENIDO

Prólogo ..... V

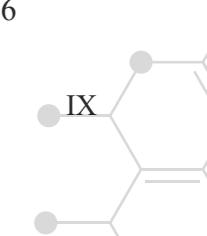
## CAPÍTULO I ..... 1

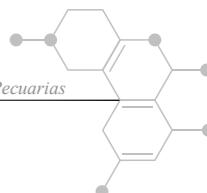
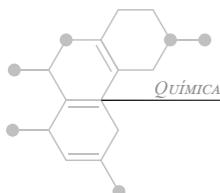
1. Introducción a la química orgánica ..... 1
1.1. Fundamentos y alcance de la química orgánica ..... 1
1.2. Conceptos básicos ..... 2
1.2.1. Definición ..... 2
1.3. Importancia ..... 3
1.3.1. Aplicaciones como ciencia básica ..... 3
1.4. Evolución histórica ..... 4
1.5. Ramas de la química orgánica ..... 5
1.6. Estructura del carbono ..... 6
1.6.1. Propiedades de enlace y reactividad del carbono ..... 7
1.6.2. La covalencia del carbono ..... 7
1.7. Alotropía del carbono ..... 8
1.8. Aplicaciones del carbono en ciencias pecuarias y agroindustria ..... 9
1.9. Clases de carbono de acuerdo con la posición ..... 10
1.10. Tipos o clases de cadenas carbonadas ..... 10
1.11. Representación de compuestos químicos orgánicos ..... 12
1.12. Isomería ..... 14
1.13. Hibridación y geometría molecular del carbono ..... 18
1.13.1. Hibridación $sp^3$ ..... 19
1.13.2. Hibridación $sp^2$ ..... 19
1.13.3. Hibridación $sp$ ..... 20
1.13.4. Características de los enlaces covalentes ..... 20
1.14. Compuestos orgánicos y grupos funcionales comunes ..... 21

## CAPÍTULO II ..... 25

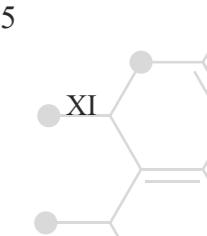
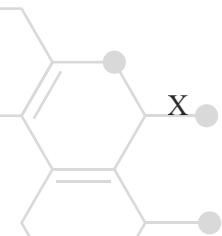
2. Hidrocarburos saturados e insaturados ..... 25
2.1. Introducción ..... 25
2.2. Alcanos ..... 26
2.2.1. Nomenclatura ..... 26
2.2.2. Reglas de nomenclatura ..... 26

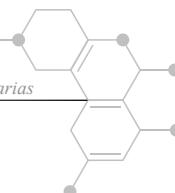
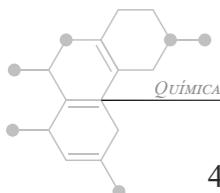
2.2.3. Radicales de Alquilo ..... 28
2.2.4. Propiedades físicas ..... 28
2.2.5. Obtención de los alcanos ..... 30
2.2.6. Reacciones de los alcanos ..... 31
2.2.7. Reacciones de cicloalcanos ..... 32
2.2.8. Alcanos y cicloalcanos en ciencias pecuarias ..... 32
2.2.9. Los alcanos en la nutrición animal ..... 33
2.2.10. Otras aplicaciones de cicloalcanos: ..... 33
2.3. Alquenos ..... 34
2.3.1. Estructura y reactividad ..... 34
2.3.2. Propiedades físicas y químicas ..... 35
2.3.3. Nomenclatura de alquenos ..... 35
2.3.4. Reglas de numeración y sustituyentes ..... 36
2.3.5. Isomería cis-trans ..... 37
2.3.6. Cicloalquenos ..... 37
2.3.7. Radicales derivados de alquenos ..... 38
2.3.8. Propiedades físicas de los alquenos ..... 38
2.3.9. Estado físico y longitud de la cadena ..... 38
2.3.10. Solubilidad y naturaleza no polar ..... 39
2.3.11. Densidad ..... 39
2.3.12. Puntos de ebullición ..... 39
2.3.13. Puntos de fusión ..... 39
2.3.14. Propiedades químicas de alquenos ..... 40
2.3.15. Obtención de alquenos ..... 40
2.3.16. Deshidrohalogenación de halogenuros de alquilo (estereoselectiva) ..... 41
2.3.17. Deshalogenación de dihaluros vecinales ..... 42
2.3.18. Deshidratación de alcoholes ..... 42
2.3.19. Reacciones de los alquenos ..... 42
2.3.20. Reacciones de adición ..... 43
2.3.21. Hidratación de alquenos ..... 43
2.3.22. Hidrogenación ..... 44
2.3.23. Hidrohalogenación de alquenos o adición de halogenuros de hidrógeno ..... 44
2.3.24. Oxidación de alquenos ..... 45
2.3.25. Alquenos en la agroindustria y en las ciencias pecuarias ..... 46



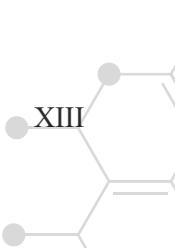
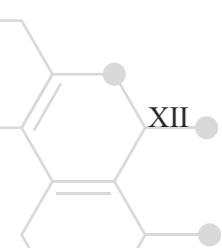


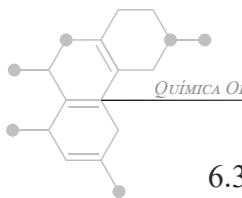
2.3.26. Los alquenos en feromonas: revolucionando el control integrado de plagas.....	48
2.4. Alquinos .....	49
2.4.1. Propiedades físicas .....	50
2.4.2. Nomenclatura .....	51
2.4.3. Reglas básicas de nomenclatura IUPAC para alquinos .....	51
2.4.4. Propiedades químicas de alquinos.....	52
2.4.5. Obtención de alquinos .....	52
2.4.6. Reacciones de alquinos .....	54
2.4.7. Hidratación .....	54
2.4.8. Reducción .....	54
2.4.9. Ozonólisis .....	55
2.4.10. Polimerización .....	55
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>57</b>
3. Hidrocarburos aromáticos .....	57
3.1. Introducción .....	57
3.2. Estructura y aromaticidad .....	58
3.3. Estabilidad química.....	61
3.4. Representación del benceno .....	61
3.5. Propiedades fisico-químicas .....	62
3.6. Punto de fusión y de ebullición.....	62
3.7. Solubilidad .....	62
3.8. Densidad .....	63
3.9. Nomenclatura .....	63
3.9.1. Reglas de nomenclatura IUPAC .....	63
3.9.2. Nomenclatura común .....	64
3.10. Métodos de obtención de compuestos aromáticos .....	65
3.10.1. Fuentes naturales .....	65
3.10.2. Métodos de síntesis.....	65
3.10.3. Derivación de otros hidrocarburos .....	66
3.11. Reacciones de hidrocarburos aromáticos .....	66
3.11.1. Sustitución electrofílica aromática (SEAr).....	66
3.11.2. Reacciones de adición.....	67
3.11.3. Reacciones de oxidación.....	68
3.12. Compuestos aromáticos en medicina veterinaria: el rol del timol y carvacrol.....	68
3.13. Aplicación de los compuestos aromáticos en la agroindustria y en las ciencias pecuarias.....	69
3.13.1. Agroindustria .....	69
3.13.2. Ciencias pecuarias .....	71
3.13.3. Medicamentos veterinarios.....	72
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>73</b>
4. Compuestos oxigenados .....	73
4.1. Introducción .....	73
4.2. Grupos funcionales, funciones químicas oxigenadas .....	73
4.3. Alcoholes.....	75
4.3.1. Nomenclatura .....	75
4.4. Clasificación .....	77
4.4.1. Alcoholes primarios .....	77
4.4.2. Alcoholes secundarios .....	78
4.4.3. Alcoholes terciarios .....	78
4.4.4. Propiedades fisicoquímicas de los alcoholes .....	79
4.4.5. Puntos de ebullición y fusión .....	79
4.4.6. Solubilidad .....	80
4.4.7. Densidad .....	80
4.4.8. Viscosidad .....	80
4.4.9. Propiedades ópticas .....	80
4.4.10. Reactividad química .....	81
4.4.11. Reacciones de obtención de alcoholes .....	81
4.4.12. Fermentación de azúcares .....	82
4.5. Reacciones de alcoholes .....	82
4.5.1. Oxidación de alcoholes .....	83
4.5.2. Deshidratación .....	83
4.5.3. Reacción de sustitución .....	84
4.5.4. Esterificación .....	84
4.5.5. Reacciones con metales activos .....	84
4.6. Fenoles .....	84
4.6.1. Propiedades fisicoquímicas de los fenoles .....	85



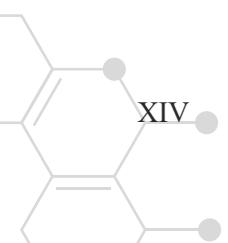


4.7. Hidroxifenoles . . . . .	85	5.4.2. Ejemplos de nomenclatura de ácidos carboxílicos . . . . .	108
4.7.1. Alcoholes terpénicos en medicina veterinaria y producción animal . . . . .	86	5.5. Reacciones de obtención de ácidos carboxílicos . . . . .	109
4.7.2. Aplicaciones de los fenoles y los hidroxifenoles . . . . .	87	5.5.1. Oxidación de alcoholes primarios . . . . .	109
4.7.3. Importancia . . . . .	87	5.5.2. Oxidación de aldehídos . . . . .	109
4.8. Aldehídos . . . . .	88	5.5.3. Oxidación de alquenos . . . . .	109
4.8.1. Introducción . . . . .	88	5.5.4. Hidrólisis de nitrilos . . . . .	109
4.8.2. Propiedades fisicoquímicas de los aldehídos . . . . .	88	5.5.5. Carboxilación de reactivos de Grignard . . . . .	110
4.8.3. Nomenclatura . . . . .	89	5.5.6. Oxidación de metilcetonas (reacción de haloformo) . . . . .	110
4.8.4. Reacciones de obtención . . . . .	91	5.6. Producción del ácido acético . . . . .	110
4.8.5. Otros métodos . . . . .	92	5.7. Reacciones de los ácidos carboxílicos . . . . .	111
4.8.6. Reacciones de aldehídos . . . . .	93	5.7.1. Esterificación . . . . .	111
4.9. Cetonas . . . . .	94	5.7.2. Formación de amidas . . . . .	111
4.9.1. Introducción . . . . .	94	5.7.3. Reducción a alcoholes . . . . .	111
4.9.2. Propiedades fisicoquímicas de las cetonas . . . . .	95	5.7.4. Formación de anhídridos . . . . .	112
4.9.3. Nomenclatura . . . . .	96	5.7.5. Reacción con halogenuros de fósforo . . . . .	112
4.9.4. Reacciones de obtención . . . . .	97	5.7.6. Neutralización . . . . .	112
4.9.5. Reacciones de cetonas . . . . .	98	5.8. Reacciones de los derivados de ácidos carboxílicos . . . . .	112
4.10. Colorantes de origen vegetal y su uso en la industria pecuaria . . . . .	100	5.8.1. Reacciones de los ésteres . . . . .	113
4.10.1. Principales colorantes vegetales . . . . .	100	5.8.2. Reacciones de las amidas . . . . .	113
4.10.2. Aplicaciones en la industria pecuaria . . . . .	102	5.8.3. Reacciones de los anhídridos . . . . .	114
<b>CAPÍTULO V . . . . .</b>	103	5.8.4. Reacciones de los cloruros de acilo . . . . .	114
5. Ácidos carboxílicos y derivados . . . . .	103	5.9. Ésteres en la agroindustria . . . . .	115
5.1. Introducción . . . . .	103	5.9.1. Aplicaciones de los ésteres en la agroindustria . . . . .	115
5.2. Propiedades fisicoquímicas . . . . .	104	5.10. Ácidos carboxílicos de cadena media en nutrición animal . . . . .	117
5.2.1. Propiedades físicas . . . . .	104	<b>CAPÍTULO VI . . . . .</b>	119
5.2.2. Propiedades químicas . . . . .	105	6. Compuestos nitrogenados . . . . .	119
5.3. Propiedades fisicoquímicas de los derivados de ácidos carboxílicos . . . . .	105	6.1. Introducción . . . . .	119
5.3.1. Ésteres . . . . .	105	6.2. Propiedades fisicoquímicas . . . . .	121
5.3.2. Amidas . . . . .	106	6.2.1. Aminas . . . . .	121
5.3.3. Anhídridos . . . . .	106	6.2.2. Amidas . . . . .	121
5.3.4. Cloruros de Acilo . . . . .	106	6.2.3. Nitrilos . . . . .	121
5.4. Nomenclatura de los ácidos carboxílicos . . . . .	108	6.2.4. Aminoácidos . . . . .	122
5.4.1. Reglas de nomenclatura IUPAC . . . . .	108	6.2.5. Amonios orgánicos . . . . .	122





6.3. Nomenclatura .....	122
6.3.1. Aminas .....	123
6.3.2. Amidas .....	123
6.3.3. Nitrilos .....	124
6.3.4. Aminoácidos .....	125
6.4. Métodos de obtención .....	126
6.4.1. Obtención de aminas .....	126
6.4.2. Obtención de amidas .....	126
6.4.3. Obtención de nitrilos .....	127
6.4.4. Obtención de aminoácidos .....	127
6.5. Reacciones de compuestos nitrogenados .....	128
6.5.1. Reacciones de aminas .....	128
6.5.2. Reacciones de amidas .....	128
6.5.3. Reacciones de nitrilos .....	129
6.6. Compuestos nitrogenados en la agroindustria y en las ciencias pecuarias ..	129
6.6.1. Aminoácidos funcionales en producción animal: glutamina y arginina	129
6.6.2. Fertilizantes y suelo .....	130
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>133</b>



## CAPÍTULO I

### 1. Introducción a la química orgánica

#### 1.1. Fundamentos y alcance de la química orgánica

La química orgánica constituye una rama fundamental de las ciencias químicas que se dedica al estudio sistemático de los compuestos basados en carbono, con excepción de los óxidos simples y carbonatos. Su singularidad radica en el análisis de moléculas que establecen enlaces covalentes, principalmente con hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, generando una extraordinaria diversidad de estructuras moleculares que son la base de los procesos vitales y el desarrollo industrial.

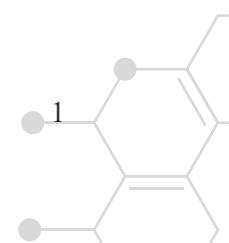
La versatilidad del átomo de carbono para formar enlaces múltiples y cadenas complejas permite la existencia de millones de compuestos orgánicos diferentes, cada uno con propiedades y funciones específicas. Esta característica única del carbono ha hecho posible el desarrollo de la vida tal como la conocemos y ha permitido innumerables aplicaciones tecnológicas.

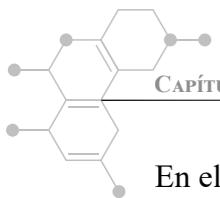
En el ámbito de las ciencias pecuarias, la química orgánica constituye un pilar fundamental para la comprensión y optimización de diversos procesos en producción animal y medicina veterinaria. Su aplicación es crucial en:

- Desarrollo de fármacos veterinarios
- Formulación de suplementos nutricionales
- Diseño de antiparasitarios y antibióticos
- Elaboración de productos para el control sanitario
- Optimización de procesos metabólicos

La agroindustria moderna se beneficia significativamente de los avances en química orgánica a través de:

- Desarrollo de fertilizantes especializados
- Creación de pesticidas más seguros y efectivos
- Implementación de prácticas agrícolas sostenibles
- Optimización de la producción de alimentos





En el campo específico de la zootecnia, esta disciplina resulta esencial para:

- Desarrollo de aditivos alimentarios especializados
- Optimización del crecimiento animal
- Mejora de la salud y bienestar del ganado
- Incremento de la eficiencia productiva
- Control de calidad de productos pecuarios

Este capítulo introductorio examina los conceptos fundamentales y el desarrollo histórico de la química orgánica, con énfasis particular en sus aplicaciones en ciencias pecuarias y agroindustria. Se establece así una base sólida para comprender:

1. La naturaleza y comportamiento de los compuestos orgánicos
2. Su impacto en los sistemas biológicos
3. Su papel en la producción animal y agrícola
4. Su contribución al desarrollo tecnológico del sector

Esta base conceptual permitirá entender cómo los avances en química orgánica continúan revolucionando las prácticas agrícolas y pecuarias, promoviendo innovaciones que mejoran la eficiencia productiva mientras mantienen altos estándares de sostenibilidad y bienestar animal.

## 1.2. Conceptos básicos

### 1.2.1. Definición

La química orgánica es la rama de la química que estudia los compuestos que contienen carbono, excluyendo a los carbonatos y óxidos simples. Estos compuestos, conocidos como compuestos orgánicos, pueden incluir una amplia variedad de estructuras desde moléculas simples como el metano ( $CH_4$ ) hasta macromoléculas complejas como proteínas y ADN. La presencia de carbono en estos compuestos les confiere propiedades únicas y la gran versatilidad química del átomo de carbono de combinarse muchas veces consigo mismo y con otros átomos, hace que el número de moléculas orgánicas que existen hasta la actualidad, se cuentan por millones.

El carbono se diferencia de los demás elementos químicos ya que puede formar enlaces fuertes entre ellos y formar cadenas carbonadas y también con otros elementos. Las cadenas carbonadas pueden crear una variedad de moléculas cíclicas y acíclicas dando lugar a una amplia variedad de compuestos que constituyen la base de la vida en la Tierra. Los organismos vivos están formados principalmente de compuestos orgánicos complejos que cumplen funciones estructurales, fisiológicas, metabólicas y genéticas. Algunos de estos compuestos orgánicos son los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos (biomoléculas) (1).

## 1.3. Importancia

La química orgánica es fundamental en la agroindustria, la medicina veterinaria y la zootecnia, ya que ofrece las bases necesarias para comprender y mejorar procesos clave en cada campo:

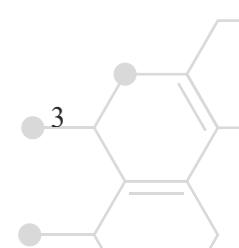
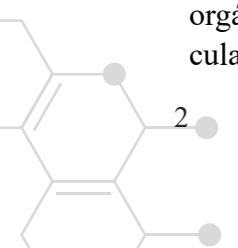
**Agroindustria:** La química orgánica es crucial en el desarrollo de agroquímicos y bioproductos sostenibles que contribuyen al manejo de cultivos y la salud del ecosistema, las innovaciones en agroquímica, como el uso de la química verde y la nanotecnología, permiten el desarrollo de pesticidas y fertilizantes que minimizan el impacto ambiental y mejoran la productividad agrícola (2). Además, el libro “*Classical and Three-Dimensional QSAR in Agrochemistry*” resalta el uso de métodos QSAR tridimensionales, los cuales facilitan el diseño de moléculas con alta especificidad y menor toxicidad para el control de plagas (3).

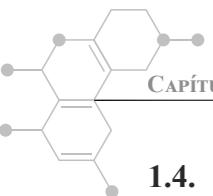
**Medicina veterinaria:** En el ámbito veterinario, la química orgánica fundamenta el desarrollo de tratamientos y pruebas diagnósticas. Por ejemplo, el texto de Engelking (2014) destaca cómo la fisiología y la química orgánica son esenciales para comprender la farmacocinética de medicamentos en animales y desarrollar pruebas para evaluar su estado fisiológico (4). Además, “*Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*” señala el papel de compuestos orgánicos en la evaluación de marcadores bioquímicos que facilitan la detección de enfermedades y condiciones metabólicas en especies domésticas y exóticas (5).

**Zootecnia:** La química orgánica permite formular suplementos y alimentos balanceados esenciales en zootecnia. La comprensión de la composición orgánica de fibras y proteínas es clave para mejorar la nutrición animal y aumentar la producción. Además, en el estudio de colorantes naturales para teñido de fibras utilizadas en zootecnia, los conceptos de química orgánica facilitan el desarrollo de métodos de extracción y aplicación de tintes de origen natural, como se observa en aplicaciones de bioquímica agrícola enfocadas en sostenibilidad y agroecología (6).

### 1.3.1. Aplicaciones como ciencia básica

- **Estudios avanzados:** La química orgánica es la base para asignaturas avanzadas como bioquímica, donde se estudian biomoléculas fundamentales. Además, en la química de alimentos, los conocimientos en compuestos orgánicos son esenciales para analizar la estabilidad y calidad de los nutrientes en la producción de alimentos para animales.
- **Tecnología de polímeros y fibras:** La química orgánica permite analizar y optimizar la composición de polímeros y fibras, tanto naturales como sintéticas, utilizadas en el sector agropecuario. Los conocimientos avanzados en estructuras moleculares son esenciales para crear fibras más resistentes y mejorar técnicas de teñido con colorantes naturales, promoviendo la sostenibilidad y el uso de productos menos tóxicos en el ambiente.





## 1.4. Evolución histórica

**1. Descubrimientos iniciales:** El proceso de Wöhler, realizado en 1828, es considerado uno de los descubrimientos más importantes en la historia de la química orgánica, ya que demostró que los compuestos orgánicos no necesariamente provienen de organismos vivos. Friedrich Wöhler llevó a cabo la síntesis de urea, un compuesto orgánico, a partir de una sustancia inorgánica, el cianato de amonio. El experimento consistió en calentar cianato de amonio ( $\text{NH}_4\text{OCN}$ ), un compuesto inorgánico, lo que resultó en su reordenamiento molecular y la formación de urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ), un producto natural que hasta ese momento solo se encontraba en los organismos vivos (1).

La ecuación química del proceso es la siguiente:

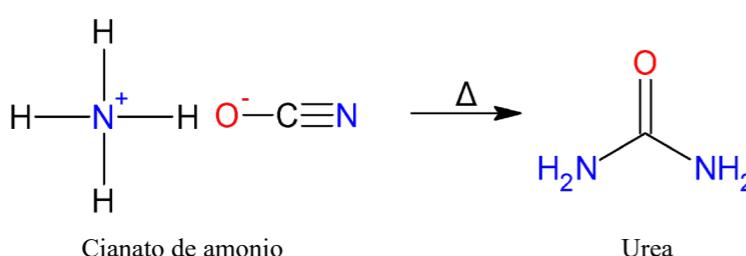


Figura 1.1. Reacción de Wöhler. Obtención de la urea.

**2. Teoría de la estructura molecular:** A mediados del siglo XIX, la química orgánica experimentó un cambio significativo gracias a las teorías de estructura molecular propuestas por August Kekulé, Archibald Scott Couper y Alexander Butlerov. Estas teorías establecen que los átomos de carbono podrían enlazarse entre sí para formar cadenas y anillos, lo que explicaba la gran diversidad de compuestos orgánicos observados. El concepto de tetravalencia del carbono y su capacidad de formar estructuras complejas sentaron las bases para el desarrollo de la química estructural, permitiendo una mejor comprensión de la reactividad y las propiedades de los compuestos orgánicos.

**3. Avances en la síntesis orgánica:** El siglo XX trajo consigo un auge en las técnicas de síntesis orgánica, facilitando la creación de una amplia gama de compuestos con aplicaciones en agricultura y medicina veterinaria. La síntesis de polímeros y fármacos, por ejemplo, revolucionó ambos campos. En el área agropecuaria, la capacidad de sintetizar pesticidas específicos y menos tóxicos mediante técnicas de química orgánica contribuyó a reducir el impacto ambiental de la agricultura y mejorar la seguridad alimentaria. Además, en veterinaria, el desarrollo de medicamentos como los antibióticos y antiparasitarios mejoró la salud animal, garantizando productos de origen animal más seguros y de mejor calidad (4).

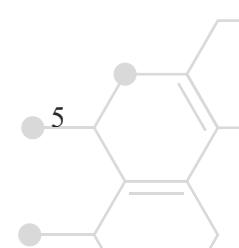
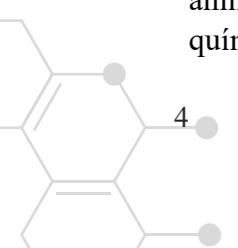
**4. Aplicaciones modernas:** En la actualidad, la química orgánica es fundamental para el desarrollo de materiales, medicamentos y tecnologías sostenibles. Las técnicas avanzadas de síntesis y análisis, como la espectroscopia de resonancia magnética y el modelado de reactividad molecular, permiten la creación de compuestos específicos que benefician la salud animal, aumentan la productividad agrícola y promueven la sostenibilidad ambiental. La química verde, por ejemplo, es una corriente que se ha consolidado para reducir el impacto

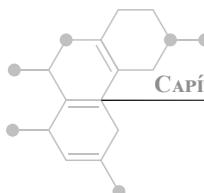
de los agroquímicos en el medio ambiente, optimizando el uso de pesticidas y fertilizantes a través de innovaciones como los semiocompuestos y los nanomateriales.

## 1.5. Ramas de la química orgánica

La química orgánica, al ser una disciplina amplia y en constante evolución, abarca diversas disciplinas que se especializan en el estudio y aplicación de compuestos orgánicos en múltiples contextos. A continuación, se presentan algunas de las principales ramas de la química orgánica, con un enfoque particular en sus aplicaciones en la agroindustria, la medicina veterinaria y la zootecnia.

- 1. Química de los compuestos naturales:** Esta rama estudia los compuestos orgánicos presentes en la naturaleza, como alcaloides, terpenos, flavonoídes y compuestos fenólicos. En la agroindustria, los compuestos naturales se aprovechan en la formulación de biofertilizantes y pesticidas de origen vegetal, minimizando el impacto ambiental de los productos químicos convencionales. En veterinaria, los extractos naturales con propiedades antibacterianas y antiparasitarias se han utilizado en el desarrollo de tratamientos seguros para la salud animal.
- 2. Química orgánica sintética:** La química orgánica sintética se centra en la creación de compuestos orgánicos mediante reacciones químicas específicas. En la medicina veterinaria, la síntesis orgánica permite desarrollar fármacos y vacunas que mejoran el bienestar de los animales y previenen enfermedades contagiosas en entornos de producción pecuaria. Además, en la agroindustria, se utiliza para producir compuestos como pesticidas y herbicidas que protegen los cultivos y optimizan la productividad agrícola sin comprometer la sostenibilidad.
- 3. Química de los polímeros:** Esta subdisciplina estudia los polímeros y sus aplicaciones, y es particularmente relevante en la creación de materiales avanzados para la agricultura y zootecnia. Los polímeros se utilizan en la fabricación de envases biodegradables y recubrimientos para semillas, contribuyendo a reducir los desechos y mejorar la eficiencia en el uso de recursos. En veterinaria, los polímeros también se emplean en la elaboración de dispositivos médicos y prótesis para animales, mostrando su versatilidad en diversos contextos.
- 4. Química verde:** La química verde se enfoca en la minimización del impacto ambiental de los procesos químicos y en el desarrollo de productos más sostenibles. En la agroindustria, esta disciplina impulsa la producción de fertilizantes y pesticidas menos tóxicos y con menores residuos en el suelo, apoyando así prácticas agrícolas sostenibles y la protección de la biodiversidad (7). La química verde también se aplica en veterinaria a través del diseño de medicamentos y tratamientos que generan menos residuos químicos, protegiendo tanto a los animales como a sus cuidadores.
- 5. Química computacional y modelado molecular:** Esta rama se dedica al estudio de compuestos orgánicos mediante simulaciones y modelos computacionales, permitiendo predecir la reactividad y las propiedades de nuevos compuestos antes de su síntesis en laboratorio. En la agroindustria, el modelado molecular





ayuda a diseñar pesticidas selectivos que no afecten organismos benéficos (8). Además, en la medicina veterinaria, permite optimizar el desarrollo de fármacos específicos para especies animales, mejorando su eficacia y reduciendo los efectos secundarios (9).

## 1.6. Estructura del carbono

La química orgánica estudia los compuestos de carbono, un elemento que se destaca por su capacidad única para formar una inmensa variedad de estructuras complejas. Esta versatilidad del carbono se debe a su configuración electrónica, que le permite formar cuatro enlaces covalentes estables con otros átomos, ya sea de carbono o de elementos como hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. La disposición de estos enlaces en el espacio da lugar a estructuras moleculares tridimensionales, que incluyen cadenas lineales, estructuras ramificadas y anillos cerrados. Por ejemplo, la urea (Figura 1.1), es un compuesto orgánico simple con aplicaciones clave en la agroindustria, la medicina veterinaria y la zootecnía. En el ámbito agrícola, es uno de los fertilizantes nitrogenados más utilizados a nivel mundial debido a su alta concentración de nitrógeno (46%), lo que la convierte en una opción eficiente y económica para mejorar la productividad de los cultivos. Además, estimula el crecimiento de bacterias nitrificantes, optimizando el ciclo del nitrógeno en los suelos. En medicina veterinaria, la urea es fundamental en pruebas diagnósticas como la ureasa, empleada para detectar bacterias como *Helicobacter pylori*, y en el análisis de la función renal a través de niveles de urea en sangre y orina. También se utiliza en formulaciones tópicas para tratar enfermedades cutáneas debido a su capacidad hidratante y exfoliante.

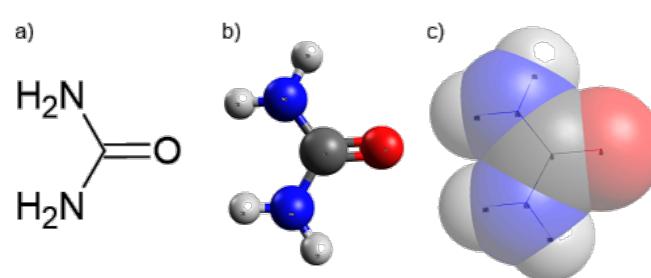


Figura 1.2 Estructuras químicas de la urea: a) estructura semidesarrollada, b) estructura de bolas y varillas, c) estructura alámbica con superficie de Van der Waals.

En zootecnía, la urea es una fuente importante de nitrógeno no proteico (NNP) en dietas para rumiantes, ya que los microorganismos ruminantes la convierten en proteínas útiles, reduciendo costos en la alimentación balanceada. Además, se emplea para evaluar el contenido de nitrógeno en forrajes y ajustar las dietas animales. Este compuesto es un ejemplo de cómo la química orgánica se conecta con las ciencias agropecuarias, impactando la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola y pecuaria, y destacando su relevancia interdisciplinaria en la mejora de la productividad y el bienestar animal.

### 1.6.1. Propiedades de enlace y reactividad del carbono

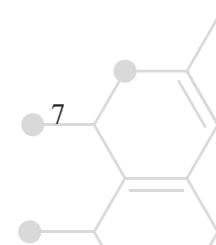
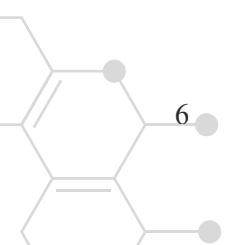
Los enlaces covalentes del carbono son notablemente estables, lo que permite la formación de cadenas moleculares largas y de estructuras cíclicas resistentes. Además, la disposición de los enlaces en torno al carbono determina propiedades esenciales de los compuestos orgánicos, como la polaridad y la solubilidad, aspectos críticos en la formulación de agroquímicos y medicamentos (1). En particular, la estabilidad de los enlaces de carbono con oxígeno y nitrógeno hace posible la creación de grupos funcionales con propiedades químicas definidas, que son el centro de muchas reacciones orgánicas esenciales para la química aplicada.

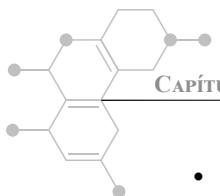
#### 1.6.1.1. La estructura del carbono y su relevancia en la química orgánica aplicada

La versatilidad del carbono no sólo es teórica; su capacidad de formar estructuras diversas y estables tiene aplicaciones prácticas que transforman industrias enteras. En la agroindustria, los compuestos orgánicos derivados del carbono se utilizan en pesticidas y fertilizantes de liberación controlada, optimizando el uso de recursos y reduciendo el impacto ambiental. En la medicina veterinaria, la estructura de compuestos de carbono permite desarrollar medicamentos específicos para especies animales, con propiedades de solubilidad y biodisponibilidad que aumentan la eficacia de los tratamientos.

## 1.6.2. La covalencia del carbono

- El carbono es tetravalente, lo que significa que forma cuatro enlaces covalentes, una propiedad fundamental para su capacidad de construir una gran variedad de estructuras orgánicas. Para comprender esta tetravalencia, es importante considerar no sólo su configuración electrónica básica, sino también el proceso de hibridación que permite al carbono presentar cuatro electrones desapareados, esenciales para la formación de estos enlaces.
- La configuración electrónica del carbono en estado basal es  $1s^2, 2s^2, 2p^2$ , lo que implica que, en este estado, solo dos electrones estarían disponibles para formar enlaces, debido a que únicamente dos electrones en los orbitales  $2p$  estarían desapareados. Sin embargo, esta configuración no explica su tetravalencia observada experimentalmente. Para explicar esta capacidad de formar cuatro enlaces, uno de los electrones del orbital  $2s$  se promueve al orbital  $2p_x$ , generando así la configuración electrónica  $1s^2, 2s^1, 2p_x^1, 2p_y^1, 2p_z^1$  (8).
- Este proceso de promoción electrónica permite que el carbono tenga cuatro electrones desapareados, lo que facilita la formación de cuatro enlaces covalentes. En un paso siguiente, el carbono entra en un estado de hibridación, donde estos orbitales  $2s$  y  $2p$  se traslanan para formar nuevos orbitales híbridos. Los tipos de hibridación más comunes en el carbono incluyen  $sp^3$ ,  $sp^2$  y  $sp$ , que producen distintas geometrías y ángulos de enlace que son fundamentales en la estructura de los compuestos orgánicos. En el caso de la hibridación  $sp^3$ , por ejemplo, los cuatro orbitales híbridos equivalentes resultan en una estructura tetraédrica con ángulos de enlace de  $109.5^\circ$ , ideal para la formación de enlaces sencillos.





- Este modelo de hibridación es crucial para entender la flexibilidad estructural del carbono y su capacidad para formar una amplia variedad de compuestos. Además, es esta propiedad la que permite al carbono enlazarse consigo mismo y con otros elementos, dando lugar a estructuras complejas como las que se observan en biomoléculas, polímeros y compuestos de interés agroindustrial y veterinario.

### 1.7. Alotropía del carbono.

El carbono es un elemento que exhibe allotropía, es decir, la capacidad de existir en diferentes formas estructurales en estado sólido. Estas formas alotrópicas presentan diversas estructuras atómicas y moleculares, lo que permite al carbono formar redes cristalinas complejas y variadas, cada una con propiedades físicas y químicas distintas.

Los alótropos más conocidos del carbono incluyen:

**Diamante y grafito:** Estructuras tridimensionales. El diamante tiene una red cristalina cúbica extremadamente dura y es un excelente conductor térmico, mientras que el grafito está formado por capas de átomos de carbono que se deslizan entre sí, lo que lo hace un buen lubricante y conductor eléctrico.

**Grafeno:** Estructura bidimensional. Consiste en una sola capa de átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal, conocida por su alta resistencia y conductividad eléctrica.

**Nanotubos de carbono:** Estructuras unidimensionales. Son tubos huecos y muy resistentes formados por átomos de carbono, con aplicaciones en nanomedicina, electrónica y materiales compuestos.

**Fullerenos:** Estructuras cero-dimensionales. Forman moléculas cerradas, esféricas o elipsoidales, como el fullereno  $C_{60}$ , con aplicaciones potenciales en campos como la farmacología y la ciencia de materiales.

Cada una de estas formas alotrópicas destaca por sus propiedades únicas, lo que permite su uso en aplicaciones tecnológicas avanzadas y su estudio en diversas áreas científicas.

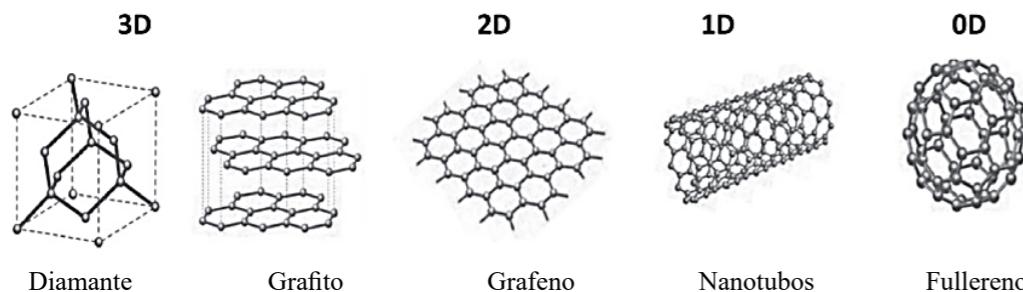


Figura 1.3 Estructuras químicas de las formas alotrópicas del carbono.

### 1.8. Aplicaciones del carbono en ciencias pecuarias y agroindustria.

El carbono y sus compuestos juegan un papel fundamental en las ciencias agropecuarias, con aplicaciones específicas que impactan directamente en la producción animal, medicina veterinaria y agroindustria:

#### En medicina veterinaria

El carbono encuentra diversas aplicaciones en la medicina veterinaria. El carbón activado se utiliza en el tratamiento de intoxicaciones, descontaminación gastrointestinal, control de diarreas y absorción de micotoxinas en alimentos. Además, materiales basados en carbono, como instrumentos quirúrgicos, implantes veterinarios, suturas avanzadas y dispositivos ortopédicos, mejoran los procedimientos clínicos y la recuperación animal.

#### En producción animal

En la producción animal, el carbono desempeña un papel esencial en la nutrición mediante aditivos que mejoran la digestibilidad, secuestran micotoxinas y proporcionan suplementos minerales. En instalaciones pecuarias, materiales compuestos basados en carbono se emplean en construcciones, sistemas de ventilación, equipos de ordeño y bebederos con propiedades antimicrobianas.

#### En sanidad animal

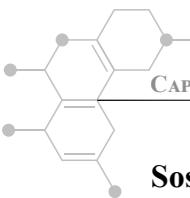
El control ambiental en sanidad animal utiliza filtros de carbono para purificar aire y agua, reducir olores y tratar residuos orgánicos. En bioseguridad, materiales desinfectantes, filtros sanitarios y sistemas de tratamiento de efluentes refuerzan la prevención de enfermedades y el manejo adecuado de desechos.

#### En agroindustria

En el procesamiento de alimentos, el carbono mejora la filtración de productos lácteos, la purificación de aceites, la clarificación de bebidas y la conservación de productos cárnicos. En control de calidad, se utiliza para analizar residuos, detectar contaminantes y monitorear la frescura y composición de los alimentos.

#### Innovaciones tecnológicas

La nanotecnología basada en carbono ofrece avances como sistemas de liberación controlada de fármacos, diagnósticos moleculares, terapias dirigidas y materiales biocompatibles. En biotecnología, los sensores, marcadores moleculares y dispositivos de diagnóstico rápido optimizan la detección y prevención de enfermedades.



## Sostenibilidad y medio ambiente

El carbono contribuye a la sostenibilidad con soluciones para el tratamiento de residuos pecuarios, reducción de emisiones, reciclaje de materiales y purificación de efluentes. Además, se integra en sistemas de energía limpia, como biodigestores y aprovechamiento de residuos, para reducir la huella de carbono.

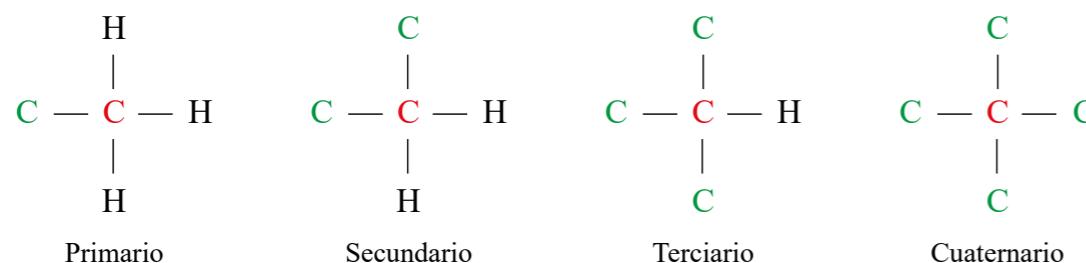
## Aplicaciones en investigación

En investigación, el carbono facilita la trazabilidad de productos de origen animal, control de calidad y certificación de autenticidad. También impulsa el desarrollo de nuevos materiales veterinarios, sistemas de administración de fármacos y suplementos nutricionales especializados, promoviendo avances en la seguridad alimentaria y la innovación agropecuaria.

Esta diversidad de aplicaciones demuestra el papel crucial del carbono en el desarrollo y modernización del sector agropecuario, promoviendo prácticas más eficientes, sostenibles y responsables con el bienestar animal.

## 1.9. Clases de carbono de acuerdo con la posición

Primario si se encuentra enlazado a un átomo de carbono, secundario se enlaza a dos átomos de carbono, terciario si se enlaza a tres átomos de carbono y cuaternario se enlaza a cuatro átomos de carbono.



## 1.10 Tipos o clases de cadenas carbonadas

Las cadenas carbonadas constituyen la base estructural de los compuestos orgánicos, ya que están formadas por átomos de carbono enlazados entre sí, acompañados generalmente de hidrógeno y otros elementos. Estas cadenas pueden clasificarse en diferentes tipos según su disposición y características estructurales: abiertas o acíclicas, y cerradas o cíclicas (Figura 1.4). Dentro de estas categorías, se distinguen subtipos como las cadenas lineales, ramificadas, policíclicas, heterocíclicas, homocíclicas y monocíclicas. Este análisis permite comprender cómo la estructura influye en las propiedades químicas y físicas de los compuestos, lo que resulta esencial para su aplicación en la síntesis orgánica y en diversas industrias como la farmacéutica, la agroquímica y la petroquímica.

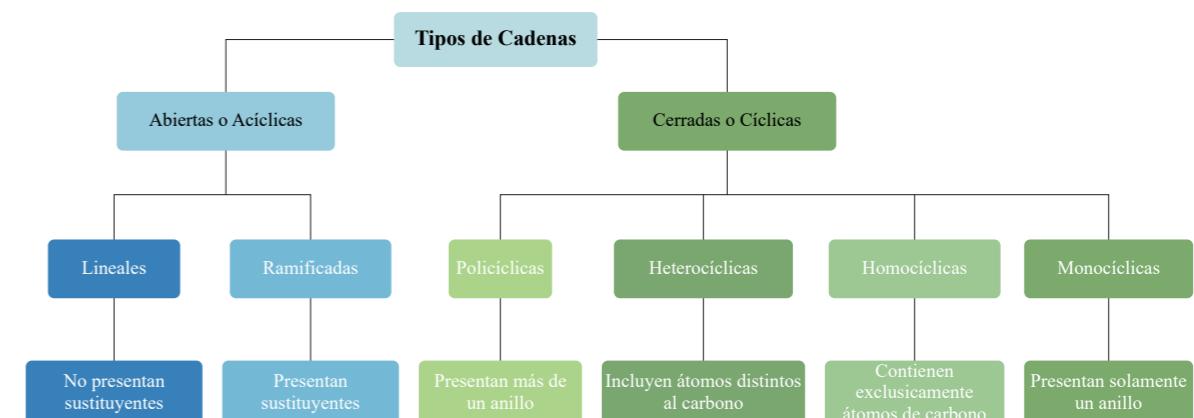
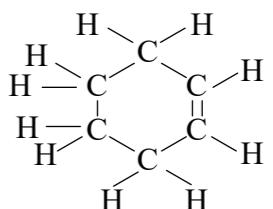
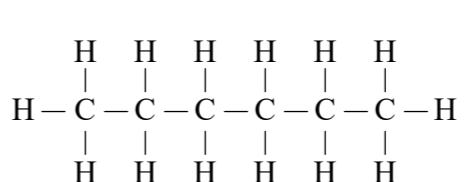
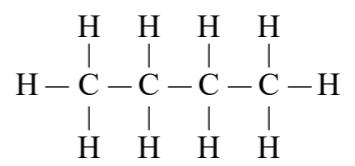


Figura 1.4 Tipos de cadenas carbonadas.

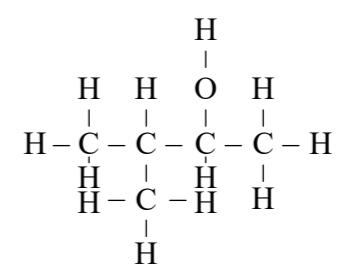
Las cadenas carbonadas pueden ser abiertas o acíclicas y cerradas o cíclicas



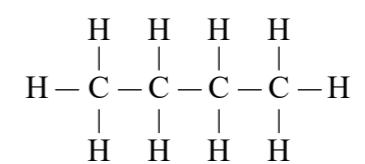
Cadena lineal abierta, no presenta sustituyentes.



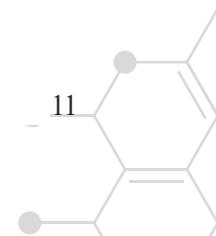
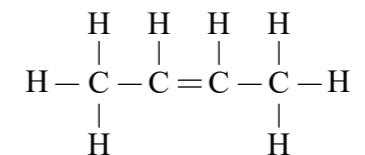
Cadena ramificada abierta, presenta sustituyentes.

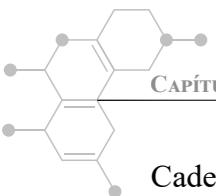


Cadena saturada presenta enlaces simples entre carbono y carbono

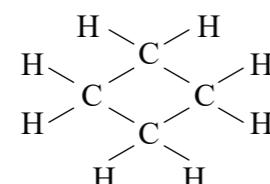


Cadena insaturada presenta dobles o triple enlaces entre carbono y carbono.

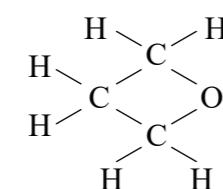




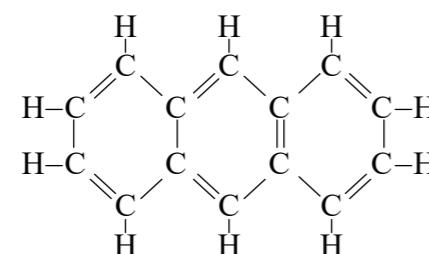
Cadena homocíclica cerrada conformada solo por átomos de carbono.



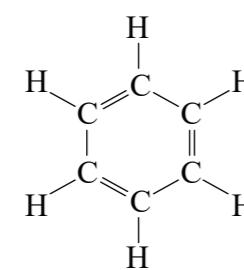
Cadena heterocíclica es cerrada y presenta átomos diferentes al carbono como entre otros el oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo.



Cadena policíclica, cerrada conformada por varios anillos



Cadena monocíclica



### 1.11. Representación de compuestos químicos orgánicos

Los compuestos químicos orgánicos pueden representarse mediante diversas clases de fórmulas químicas, cada una de las cuales ofrece distinta información sobre la composición y estructura de la molécula. A continuación, se describen los principales tipos de fórmulas:

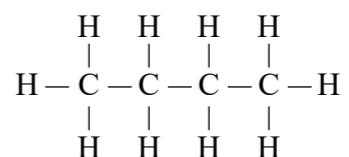
**1. Fórmula molecular:** Indica los tipos y cantidades de átomos presentes en una molécula mediante el uso de símbolos químicos y subíndices. Esta fórmula muestra la composición elemental exacta de un compuesto, pero no proporciona información sobre la disposición de los átomos. Por ejemplo, la fórmula molecular de un hidrocarburo simple como el metano es ( $\text{CH}_4$ ).

**2. Fórmula empírica (o mínima):** Representa la proporción más simple entre los átomos de los elementos en un compuesto, mediante símbolos químicos y subíndices que reflejan su proporción relativa mínima. A diferencia de la fórmula molecular, la fórmula empírica no identifica el compuesto específico, ya que solo indica la proporción básica entre los elementos. Ejemplos incluyen ( $\text{CH}$  y  $\text{CH}_2\text{O}$ ), que pueden corresponder a varios compuestos distintos.

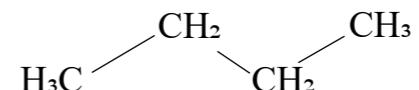
**3. Fórmula general:** Representa una familia de compuestos orgánicos con una estructura común. Emplea símbolos químicos y la letra “n” para indicar un número variable de átomos de carbono, junto con subíndices que muestran la proporción típica de otros átomos en la función química. Por ejemplo, la fórmula general de los alkanos alicíclicos es ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ )

**4. Fórmula estructural:** Muestra la disposición específica de los átomos y los enlaces químicos en el espacio, proporcionando una visión detallada de la estructura molecular. Existen varios tipos de fórmulas estructurales:

**5. Fórmula desarrollada:** Representa todos los enlaces entre átomos, mostrando claramente la estructura completa de la molécula.



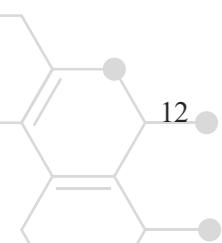
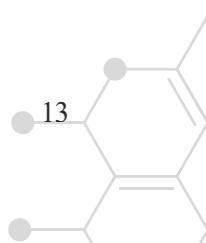
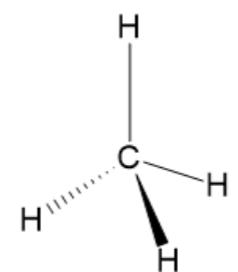
**6. Fórmula semidesarrollada:** Muestra los enlaces entre átomos de carbono, pero omite los enlaces entre carbono e hidrógeno, simplificando la visualización de la cadena principal.

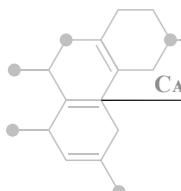


**7. Fórmula esqueletal (o zig-zag):** Es una representación simplificada de la estructura carbonada en la que cada vértice o extremo de la línea representa un átomo de carbono, con los enlaces entre ellos formando un patrón de zig-zag.

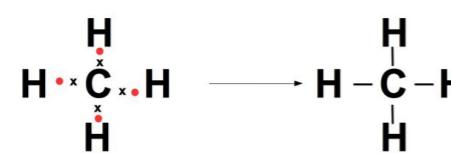


**8. Diagrama tridimensional:** Representa la molécula en tres dimensiones, utilizando cuñas sólidas para indicar átomos que se encuentran delante del plano, líneas entrecortadas para los que están detrás, y líneas simples para los que están en el plano.





**9. Fórmula de Lewis:** Representa cada enlace químico mediante pares de electrones, usando puntos, cruces o círculos alrededor del símbolo de cada elemento para indicar los electrones compartidos o libres, cumpliendo con la regla del octeto.



Cada una de estas representaciones proporciona información específica sobre la composición y disposición de los átomos, lo que facilita el estudio y comprensión de los compuestos orgánicos y sus propiedades químicas.

### 1.12. Isomería

Es una propiedad que presentan los compuestos principalmente orgánicos en poseer la misma fórmula molecular, diferente grupo funcional en sus moléculas, diferente estructura molecular y la misma masa molar, por lo tanto, diferentes propiedades físicas y químicas. Los compuestos que presentan isomería se conocen como isómeros (del griego: isos, igual; meros: parte) (Figura 1.5).

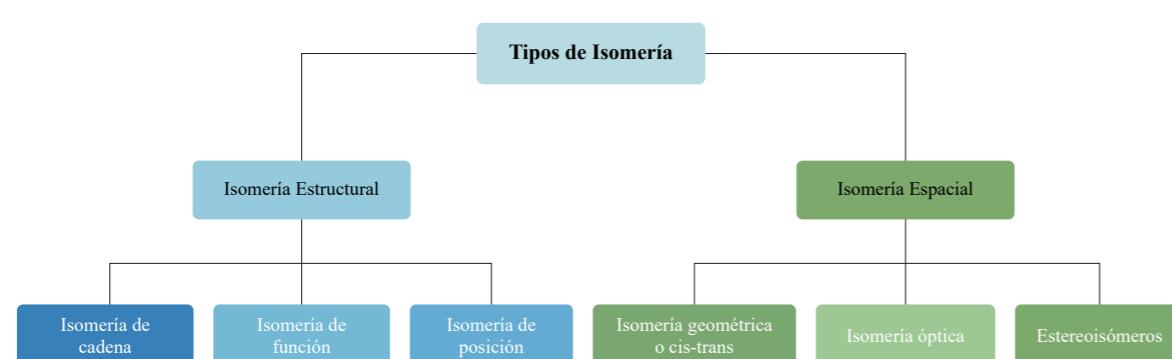


Figura 1.5 Tipos de isomería.

Por ejemplo, el alcohol etílico y éter metílico que tienen la misma fórmula molecular ( $C_2H_6O$ ) (Figura 1.6), la misma masa molar 46.07g/mol, diferente estructura molecular, los átomos se unen de manera distinta, sus propiedades son distintas.

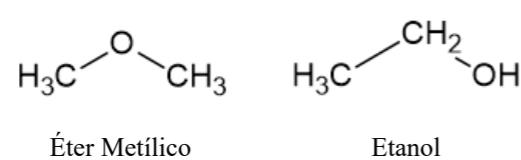
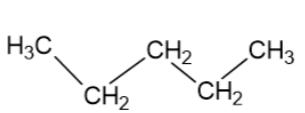


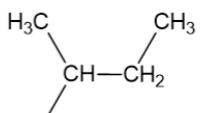
Figura 1.6 Isómeros del éter metílico y el etanol.

Son isómeros estructurales aquellos que difieren entre sí debido a que sus átomos están enlazados de diferente forma. Se presentan como isómeros de cadena, de función y de posición.

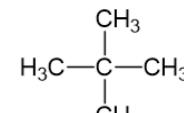
**Isómeros de cadena:** Difieren en la forma en que están unidos los átomos de carbono entre sí para formar una cadena carbonada.



n-pentano

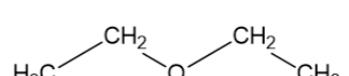


2-metilbutano

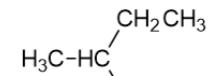


2,2-dimetilpropano

**Isómeros de función:** Difieren en el grupo funcional

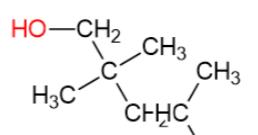


Etoxietano

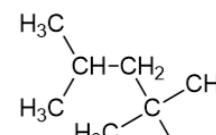


butan-2-ol

**Isómeros de posición:** Difieren en el localizador que se ubica el grupo funcional como sustituyente en la cadena carbonada.



2,2,4-trimetilpentan-1-ol

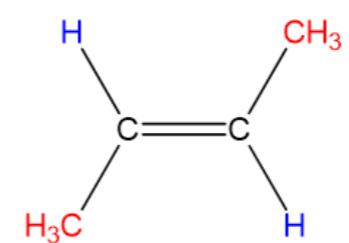


2,4,4-trimetilpentan-2-ol

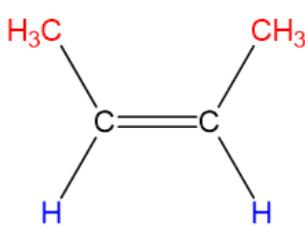
La isomería espacial o estereoisomería presentan las sustancias que tienen la misma estructura, los mismos átomos, la misma cadena carbonada, los mismos grupos funcionales, que difieren en alguna de sus orientaciones espaciales. Se clasifica en dos tipos que son:

**Estereoisomería geométrica:** Se presenta en los alquenos y los cicloalcanos, moléculas que presentan enlaces entre carbonos que no giran libremente y sus sustituyentes poseen posibles ordenaciones diferentes.

El enlace doble de un alqueno es una estructura plana, los sustituyentes de los dos carbonos pueden ubicarse al mismo lado del plano conformando un isómero CIS, si se encuentran en diferentes lados del plano conformaría el isómero TRANS.

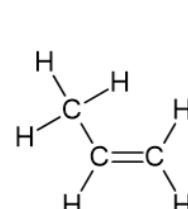


Trans-but-2-eno

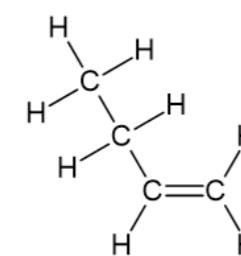


Cis-but-2-eno

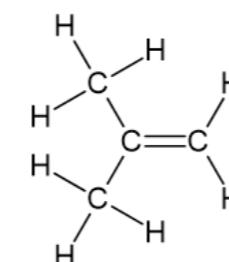
Para considerar un isómero geométrico también se debe considerar que los dos átomos o sustituyentes de cada carbono del doble enlace, no sean iguales. Las siguientes estructuras no son isómeras.



Propileno

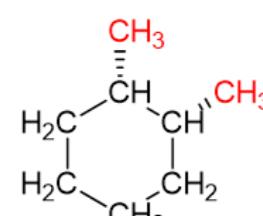


But-1-eno

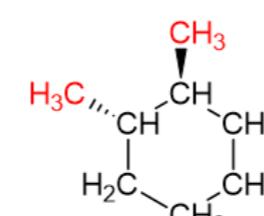


Isobutileno

En los cicloalcanos la cadena carbonada cíclica forma un pseudo plano, los sustituyentes que se unen al anillo pueden orientarse a un solo lado del plano o a los dos lados.

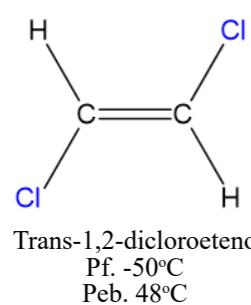
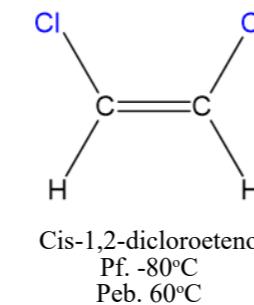


Cis- 1,2-dimetilciclohexano



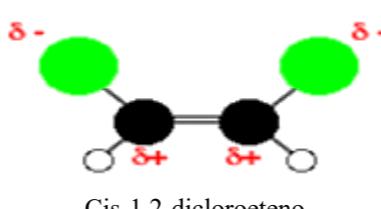
Trans- 1,2-dimetilciclohexano

La isomería geométrica influye en las propiedades físicas y químicas

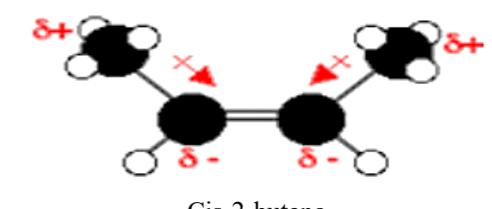

 Trans-1,2-dicloroeteno  
 Pf. -50°C  
 Peb. 48°C

 Cis-1,2-dicloroeteno  
 Pf. -80°C  
 Peb. 60°C

Se observa que el isómero cis tiene un punto de ebullición mayor que el del isómero trans, esto se debe al acercamiento que existe entre los átomos que se disponen en el espacio generando atracciones moleculares. El punto de fusión del isómero cis es más bajo que el isómero trans debido a su asimetría, por la disposición en forma de U de los átomos de cloro más voluminosos que se encuentran a un solo lado del plano, los isómeros cis son más polares y las débiles fuerzas intermoleculares dificultan el empaquetamiento en la red cristalina.

En el cis-1,2-dicloroeteno, el cloro por su electronegatividad atrae los electrones de valencia del carbono polarizando el enlace (C-Cl). En el compuesto del cis-2-buteno los grupos metilo por efecto inductivo aumentan la densidad electrónica de los carbonos del doble enlace polarizando la molécula,



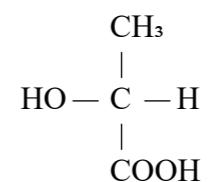
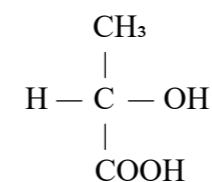
Cis-1,2-dicloroeteno



Cis-2-buteno

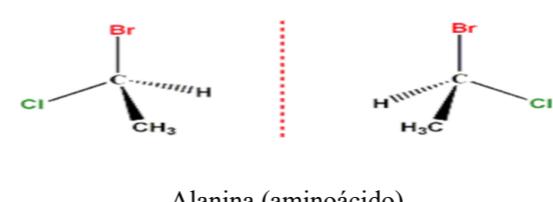
Esta propiedad se evidencia en todos los ácidos grasos insaturados naturales cuya estructura se encuentra en disposición geométrica cis. No existen en la naturaleza los isómeros trans, sino de manera sintética.

Isomería óptica la presentan las sustancias que difieren únicamente en su comportamiento diferente frente a la luz polarizada. La molécula deberá tener un centro quiral, generalmente un carbono asimétrico o carbono estereogénico, enlazado a cuatro sustituyentes distintos, no debe tener enlaces dobles y triples. En el Ácido-2-hidroxipropanoico los sustituyentes del carbono quiral son el grupo hidroxi, el grupo carboxilo, el radical metilo y el hidrógeno.



Ácido-2-hidroxipropanoico

En la isomería óptica se distinguen los isómeros enantiómeros que son pares de moléculas que tienen imagen especular y no son superponibles, como se observa en los siguientes isómeros ópticos: (Figura 1.7)



Alanina (aminoácido)

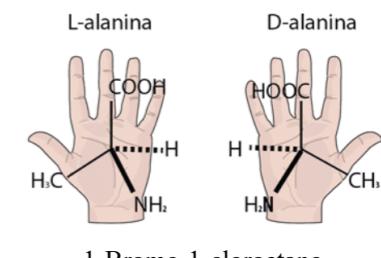


Figura 1.7 Ejemplos de estereoisómeros: alanina y 1-bromo-1-cloroetano.

Los estereoisómeros enantiómeros se los identifica utilizando el polarímetro, se analiza cada isómero por separado y en solución, al ser ópticamente activos, desvían la misma magnitud, los mismos grados, a la luz polarizada en un plano hacia la derecha (+) y el otro hacia la izquierda (-). (Figura 1.8)

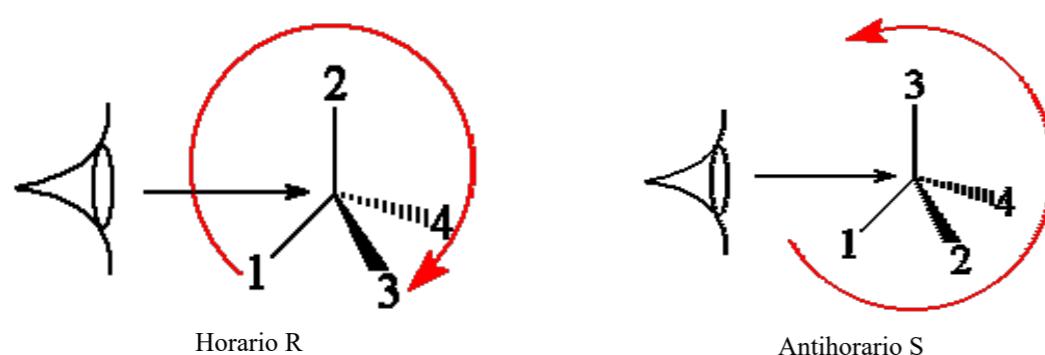


Figura 1.8 Representación de enantiómeros y su actividad óptica con designaciones R (horario) y S (antihorario).

Esta forma de denominar impuesta a los enantiómeros no se relaciona con la propiedad física de su actividad óptica.

Es importante diferenciar estos pares de isómeros enantiómeros, a pesar de su gran semejanza, uno de ellos puede servir de alimento, medicamento, estimulante y el otro no ser útil. Navarro, J. R., García Muñoz, E., & Osuna Sánchez, A. (2012) en su publicación titulada “Efecto de los isómeros en la práctica clínica” concluye que “Se debe tener en cuenta además de su estructura química, su posición espacial o estereoquímica porque el efecto benéfico en una isoforma puede ser tóxico en otra” (29).

El siguiente isómero óptico (S)-Ibuprofeno (carbono asimétrico o quiral se denota con \*) es activo como un medicamento antiinflamatorio mientras su isómero (R) -Ibuprofeno es inactivo (Figura 1.9).

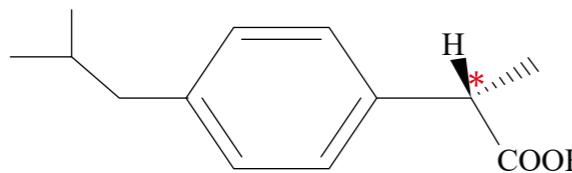


Figura 1.9 Estructura del isómero óptico (s)-ibuprofeno.

Los aminoácidos, carbohidratos, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos están presentes en los seres vivos, en los alimentos, en los fármacos y es la quiralidad molecular que permite las interacciones específicas entre las enzimas y los respectivos sustratos produciéndose las reacciones químicas que sustentan la vida.

### 1.13. Hibridación y geometría molecular del carbono

La hibridación es un concepto clave en la química orgánica que explica la formación de enlaces en moléculas orgánicas. El carbono puede hibridarse en tres formas principales:  $sp^3$ ,  $sp^2$  y  $sp$ , cada una con geometrías y propiedades distintas. A continuación, exponemos los 3 tipos de hibridación que son capaces de formar los electrones en el átomo de carbono.

#### 1.13.1. Hibridación $sp^3$

En la hibridación  $sp^3$ , un átomo de carbono combina uno de sus orbitales s con tres orbitales p para formar cuatro orbitales híbridos  $sp^3$ . La hibridación  $sp^3$  permite al carbono formar enlaces sencillos en una estructura tetraédrica, como en los alkanos, donde el carbono forma cuatro enlaces sigma ( $\sigma$ ) con ángulos de enlace de aproximadamente  $109.5^\circ$ , resultando en una geometría tetraédrica. (Figura 1.10).

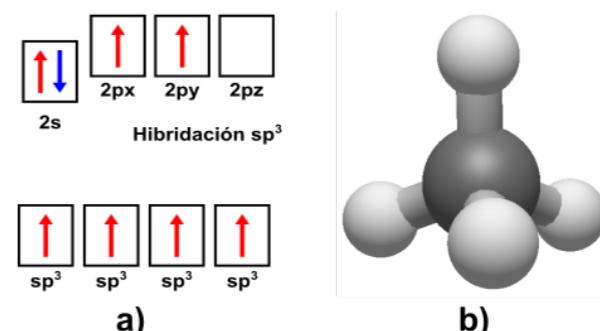


Figura 1.10 Hibridación  $sp^3$ . a) formación de hibridaciones. b) geometría tetraédrica del carbono con hibridación  $sp^3$ .

La hibridación del carbono es fundamental para entender la estructura y reactividad de las moléculas orgánicas. Los diferentes tipos de hibridación explican las variadas geometrías (Figura 1.11) y tipos de enlaces que el carbono puede formar, permitiendo la existencia de una vasta diversidad de compuestos orgánicos con propiedades únicas.

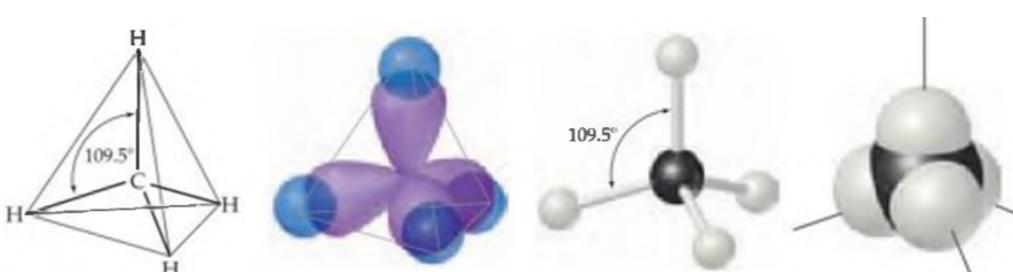


Figura 1.11 Representaciones de los arreglos tridimensionales de los enlaces en torno al carbono en el metano.

#### 1.13.2. Hibridación $sp^2$

En la hibridación  $sp^2$ , el carbono mezcla uno de sus orbitales s con dos orbitales p, dejando un orbital p sin hibridar. Esto da lugar a tres orbitales híbridos  $sp^2$  que se disponen en un plano con ángulos de  $120^\circ$ , formando una geometría trigonal plana. El orbital p no hibridado se superpone para formar un enlace pi ( $\pi$ ). La hibridación  $sp^2$  da lugar a una estructura trigonal plana, característica de los alquenos con enlaces dobles (Figura 1.12).

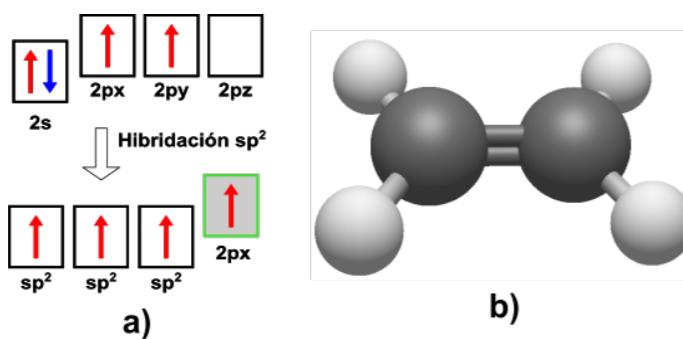


Figura 1.12 Hibridación  $sp^2$ . a) formación de la hibridación. b) geometría trigonal plana del carbono  $sp^2$ .

### 1.13.3. Hibridación $sp$

En la hibridación  $sp$ , el carbono combina uno de sus orbitales  $s$  con uno de sus orbitales  $p$ , formando dos orbitales híbridos  $sp$  con una geometría lineal y ángulos de  $180^\circ$ . Los dos orbitales  $p$  restantes permanecen sin hibridar y forman dos enlaces pi ( $\pi$ ). La hibridación  $sp$  permite una estructura lineal, como en los alquinos, donde existen enlaces triples entre átomos de carbono (Figura 1.13).

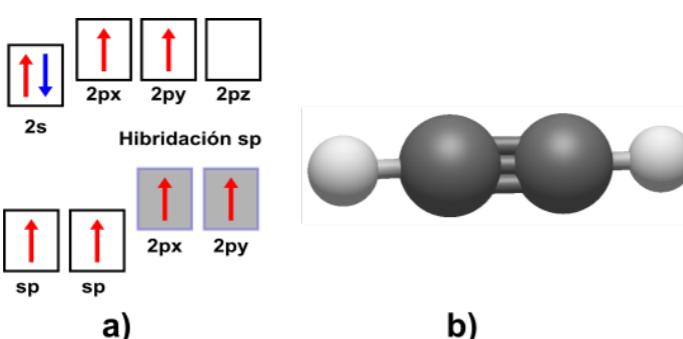


Figura 1.13 Hibridación  $sp$ . a) formación de la hibridación. geometría lineal del carbono  $sp$ .

La versatilidad en la hibridación del carbono permite la formación de una amplia gama de estructuras, desde cadenas lineales y ramificadas hasta anillos y estructuras tridimensionales complejas. Esto es fundamental para la diversidad y complejidad de los compuestos orgánicos.

Estas configuraciones permiten la formación de diversas estructuras moleculares, esenciales para la química orgánica y sus aplicaciones en biología y materiales.

### 1.13.4. Características de los enlaces covalentes

- **Formación de enlaces sigma ( $\sigma$ ):** Los enlaces sigma se forman por el traslape frontal de orbitales atómicos. En el caso del carbono, los enlaces sigma resultan de la superposición de los orbitales híbridos  $sp^3$ ,  $sp^2$  o  $sp$  con los orbitales de otros átomos, proporcionando una estructura fuerte y estable.

- **Formación de enlaces Pi ( $\pi$ ):** Los enlaces pi se forman por el traslape lateral de orbitales  $p$  no hibridados. Estos enlaces se encuentran en compuestos con dobles o triples enlaces, como alquenos y alquinos, y contribuyen a la reactividad y propiedades físicas de estas moléculas. (Figura 1.14).

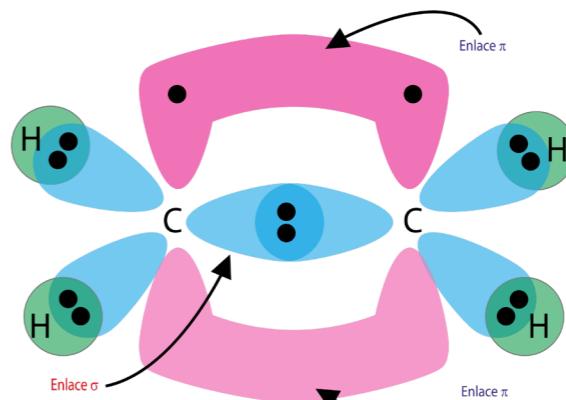
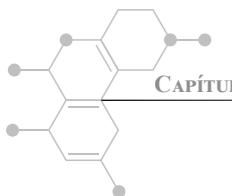


Figura 1.14 Estructura de los enlaces sigma ( $\sigma$ ) y pi ( $\pi$ ) en la molécula de etileno.

### 1.14. Compuestos orgánicos y grupos funcionales comunes

Los compuestos orgánicos se clasifican principalmente en función de los grupos funcionales que contienen. Las principales categorías incluyen hidrocarburos (alcanos, alquenos, alquinos y aromáticos), alcoholes, éteres, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, aminas y amidas. (Figura 1.15).

Un grupo funcional es un conjunto específico de átomos dentro de una molécula que tiene un comportamiento químico característico, independientemente de la estructura restante de la molécula. Este grupo determina las propiedades químicas y físicas del compuesto, así como su reactividad y los tipos de reacciones en las que puede participar. Por otro lado, una función química se refiere a la categoría a la que pertenece un compuesto en función del grupo funcional que posee. Por ejemplo, los alcoholes tienen una función química determinada por la presencia de un grupo hidroxilo ( $-OH$ ), mientras que los ácidos carboxílicos se identifican por la presencia de un grupo carboxilo ( $-COOH$ ). Los grupos funcionales son esenciales para clasificar los compuestos orgánicos y entender su comportamiento en reacciones químicas, ya que determinan cómo interactúan con otras moléculas.



## CLASIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS



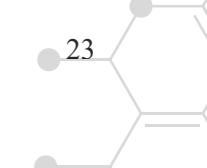
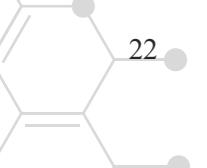
Figura 1.15 Clasificación de los compuestos orgánicos.

El Tabla 1.1 detalla diferentes clases de compuestos orgánicos, sus estructuras generales, los grupos funcionales que los caracterizan y ejemplos específicos de cada clase. Esta información es fundamental para comprender la química orgánica, ya que los grupos funcionales determinan en gran medida las propiedades químicas y físicas de las moléculas.

Tabla 1.1 Grupos Funcionales de Compuestos Orgánicos.

Clase de compuesto	Estructura general	Grupo funcional	Ejemplo
Haluros de alquilo	$R-X$	$X = F, Cl, Br, I$	$\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{Cl}$ (cloroetano)
Compuestos aromáticos		Anillo de benceno	 (benceno)
Alcoholes	$R-\text{OH}$	Hidroxilo	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ (etanol)
Fenoles	$\text{Ph-OH}$	Grupo -OH en un anillo aromático	 (fenol)

Tioles	$\text{R-SH}$	Grupo sulfhidrilo	$\text{H}_3\text{C-SH}$ (metanotiol)
Éteres	$\text{R}_1\text{-O-R}_2$	Oxígeno entre dos grupos alquilo	 (éter dimetílico)
Epóxidos		Éter en un anillo de 3 miembros	 (óxido de etileno)
Cetonas		Grupo carbonilo	 (propanona)
Aldehídos		Grupo carbonilo	 (etanal)
Ácidos carboxílicos		Grupo carboxilo	 (ácido acético)
Ésteres		Grupo alcoxi-carboxilo	 (acetato de metilo)
Amidas		Grupo carboxamida	 (acetamida)
Aminas		Grupo amino	$\text{CH}_3\text{-NH}_2$ (metilamina)
Nitrilos		Grupo ciano	$\text{H}_3\text{C-C}\equiv\text{N}$ (acetonitrilo)
Nitroalcanos		Grupo nitro	 (nitrometano)



## CAPÍTULO II

### 2. Hidrocarburos saturados e insaturados

#### 2.1. Introducción

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno. Se clasifican en dos grandes grupos: saturados e insaturados, en función del tipo de enlaces entre átomos de carbono. Esta clasificación infiere en las propiedades físicas y químicas de los hidrocarburos, así como sus aplicaciones en la industria y la vida cotidiana. Las clases principales de hidrocarburos son alcanos, alquenos, alquinos e hidrocarburos aromáticos (Figura 2.1).

Tabla 2.1 Ejemplos de estructuras de hidrocarburos: alcano, alqueno, alquino y aromático.

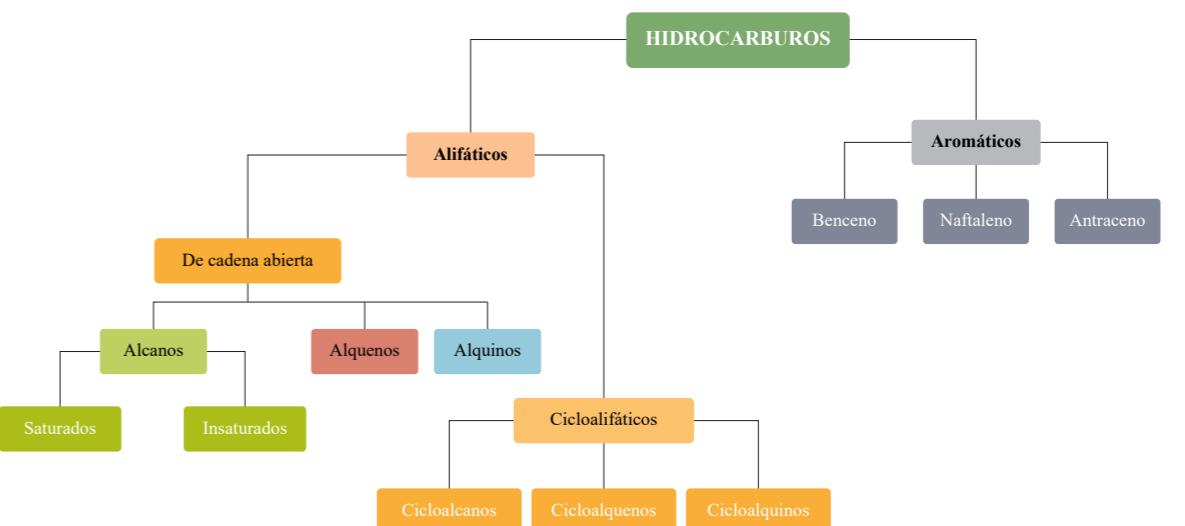
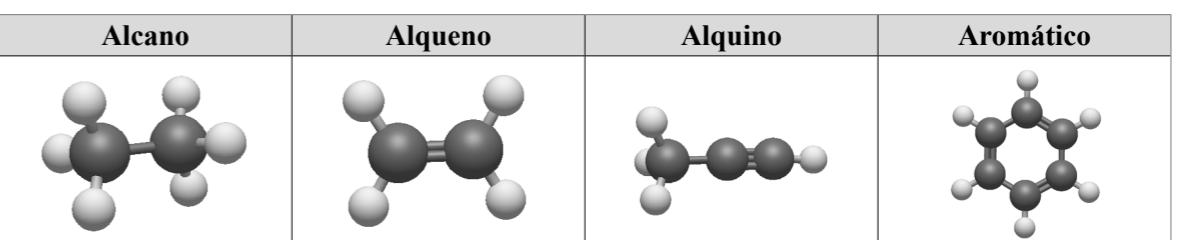


Figura 2.1 Clasificación de los Hidrocarburos.

## 2.2. Alcanos

Un alcano es un hidrocarburo que sólo contiene enlaces sencillos. Forman la clase más sencilla y menos reactiva de los compuestos orgánicos, ya que únicamente contienen hidrógeno y carbono con hibridación  $sp^3$  (Figura 2.2) y no presentan grupos funcionales reactivos.

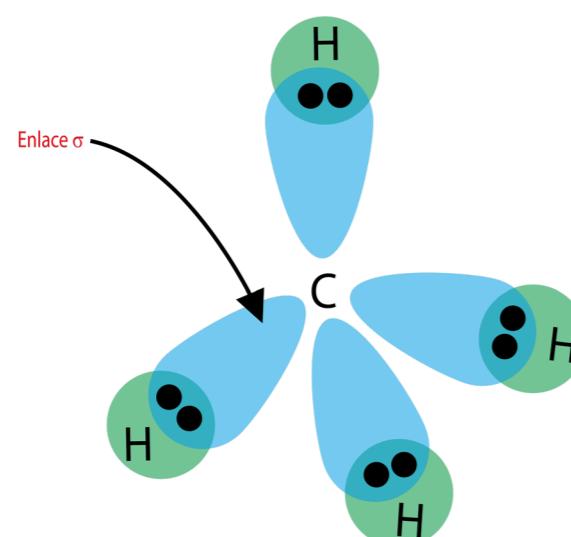


Figura 2.2 Hibridación  $sp^3$  en los alcanos.

Su fórmula general es  $C_n H_{2n+2}$ . Estos compuestos se pueden encontrar como alkanos normales, alquilados alifáticos y cíclicos, en los tres estados físicos. Los cuatro primeros miembros de la serie homóloga son gaseosos; desde el pentano hasta el octadecano son líquidos (como gasolinas y aceites); y a partir del nonadecano son sólidos (como la brea, el asfalto y la parafina).

### 2.2.1. Nomenclatura

Para alkanos lineales su nombre está compuesto de dos partes: un **prefijo** que indica el número de carbonos de la cadena seguido del sufijo **-ano**. Forman la serie homóloga que difieren en el número de  $(-CH_2)$ . (Tabla 2.1).

### 2.2.2. Reglas de nomenclatura

La nomenclatura de los alkanos y cicloalcanos sigue las reglas establecidas por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). A continuación, se describen las reglas básicas y se proporcionan ejemplos para una mejor comprensión.

#### Nomenclatura de alkanos

1. **Cadena Principal:** Seleccionar la cadena continua más larga de átomos de carbono como la cadena principal.

2. **Numeración de la Cadena:** Numerar los átomos de carbono de la cadena principal comenzando desde el extremo más cercano a una ramificación.

3. **Nombre de los Sustituyentes:** Identificar y nombrar los grupos alquilo que se ramifican de la cadena principal.

4. **Posición de los Sustituyentes:** Indicar la posición de cada sustituyente utilizando el número del átomo de carbono al que están unidos.

5. **Montaje del Nombre:** Combinar los nombres de los sustituyentes y la cadena principal en un solo nombre, ordenando los sustituyentes alfabéticamente y utilizando prefijos multiplicadores (di-, tri-, tetra-) si hay más de un sustituyente del mismo tipo.

Tabla 2.2 Ejemplos de alkanos con sus estructuras semidesarrolladas y nombres IUPAC.

Fórmula Molecular	Estructura	Nombre IUPAC
$CH_4$	$H-CH_3$	Metano
$C_2H_6$	$CH_3-CH_3$	Etano
$C_3H_8$	$CH_3-CH_2-CH_3$	Propano
$C_4H_{10}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	Butano
$C_4H_{10}$	$CH_3-CH(CH_3)-CH_3$	2-Metilpropano (Isobutano)
$C_5H_{12}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Pentano
$C_6H_{14}$	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	Hexano
$C_6H_{14}$	$CH_3-CH(CH_3)-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$	2-Metilpentano
$C_6H_{14}$	$CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH_2-CH_2-CH_3$	3-Metilpentano

**Para alkanos ramificados:** Elegir la cadena principal, si tenemos dos cadenas con igual número de átomos de carbono, se considera aquella que tenga mayor número de ramificaciones o sustituyentes, cadenas laterales con localizadores más bajos, numerar los localizadores más bajos a los sustituyentes en orden alfabético y luego nombrar (Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Ejemplos de nomenclatura de alkanos ramificados.

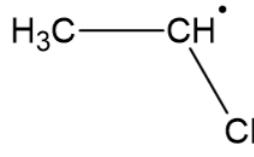
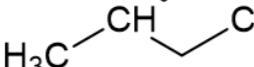
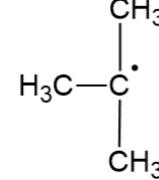
Nombre IUPAC	Estructura
4-etil-2-metiloctano	
3-etil-2,5-dimetilheptano	

## 2.2.3. Radicales de Alquilo

Los **radicales de alquilo** son grupos derivados de los alcanos cuando pierden un átomo de hidrógeno. Esta pérdida de hidrógeno deja al grupo alquilo con un enlace libre, lo que lo convierte en un sustituyente que puede unirse a otras moléculas. Los radicales alquilo se nombran reemplazando la terminación “-ano” del alcano correspondiente con “-il” o “-ilo” en español. Estos radicales son fundamentales en la química orgánica, ya que actúan como unidades estructurales en la formación de moléculas más complejas y participan en muchas reacciones químicas, especialmente en reacciones de sustitución y adición.

A continuación, En la Tabla 2.4 se mencionan ejemplos de algunos alcanos, sus radicales alquilo correspondientes y el nombre del radical alquilo:

Tabla 2.4 Ejemplos de alkanos y radicales libres.

Alcano	Radical Alquilo	Nombre del Radical Alquilo
Metano (CH <sub>4</sub> )	CH <sub>3</sub>	Metil
Isopropano		Isopropil
Sec-butano		Sec-butil
Terbutano		Ter-butil
Neopentano		Neo-pentil
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	Etil
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub>	Propil
Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub>	Butil
Pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub>	Pentil
Hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	C <sub>6</sub> H <sub>13</sub>	Hexil
Heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	C <sub>7</sub> H <sub>15</sub>	Heptil

## 2.2.4. Propiedades físicas

Los alcanos son compuestos con características físicas distintivas que influyen en su comportamiento y aplicaciones en la industria. A continuación, en la tabla 2.5, se describen algunas de sus propiedades físicas más relevantes:

Tabla 2.5 Ejemplos de puntos de fusión, puntos de ebullición y densidad para alcanos.

Alcano	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Densidad (g/mL)
Metano (CH <sub>4</sub> )	-182.5	-161.5	0.000656
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	-183.3	-88.6	0.001356
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	-187.7	-42.1	0.493
Butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	-138.3	-0.5	0.584
Pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	-129.7	36.1	0.626
Hexano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	-95.3	68.7	0.660
Heptano (C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> )	-90.6	98.4	0.684
Octano (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	-56.8	125.6	0.703
Nonano (C <sub>9</sub> H <sub>20</sub> )	-53.5	150.8	0.718
Decano (C <sub>10</sub> H <sub>22</sub> )	-29.7	174.0	0.730

**Hidrofobicidad:** Los alcanos son hidrofóbicos, lo que significa que repelen el agua y no se disuelven en solventes polares como el agua. Esta característica se debe a la naturaleza no polar de sus enlaces carbono-hidrógeno. Se disuelven fácilmente en solventes apolares, como otros hidrocarburos, éteres y cloroformo, debido a la similitud en polaridad.

**Densidad:** La densidad de los alkanos es generalmente baja, con valores cercanos a los 0.7 g/mL (líquidos y sólidos). Esto hace que sean menos densos que el agua, permitiéndoles flotar sobre ella.

**Conductividad eléctrica:** Los alkanos son malos conductores de la electricidad. No tienen electrones libres que puedan moverse a través de la estructura molecular, y por lo tanto, no se polarizan significativamente en presencia de un campo eléctrico.

**Interacciones intermoleculares:** Los alkanos experimentan fuerzas intermoleculares de Van der Waals. Estas fuerzas son relativamente débiles comparadas con otros tipos de interacciones intermoleculares, lo que se refleja en sus puntos de ebullición y fusión relativamente bajos. A medida que aumenta el área de la superficie de contacto entre las moléculas, las fuerzas de Van der Waals se incrementan (Figura 2.3), resultando en mayores puntos de ebullición. Por ejemplo, los alkanos lineales tienen puntos de ebullición más altos que sus isómeros ramificados debido a una mayor área de contacto intermolecular.

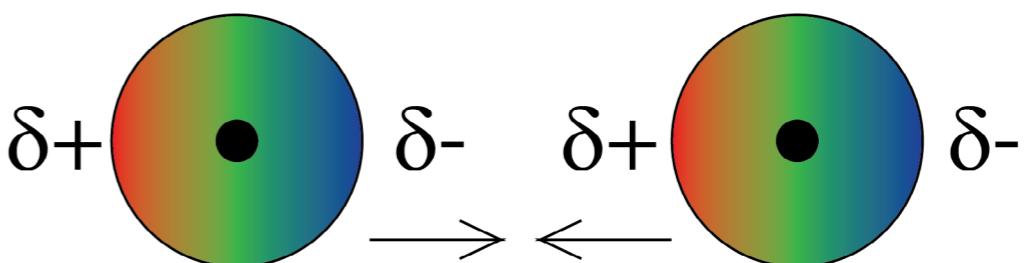
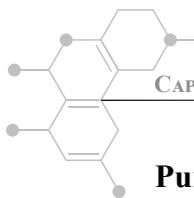


Figura 2.3 Dipolos inducidos siendo atraídos por las fuerzas de Van der Waals.



**Puntos de ebullición y fusión:** El punto de ebullición de los alcanos aumenta con el número de átomos de carbono en la cadena debido al incremento de las fuerzas de Van der Waals. Los n-alcanos (alcanos lineales) siguen una tendencia clara en la que el punto de ebullición se eleva conforme aumenta la longitud de la cadena.

Los alkanos ramificados tienden a tener puntos de fusión y ebullición más bajos que los n-alcanos con el mismo número de átomos de carbono. Esto se debe a la estructura tridimensional más compacta y menos superficie de contacto, lo que disminuye la efectividad de las fuerzas de Van der Waals.

**Miscibilidad:** Los alkanos son miscibles entre sí, lo que significa que se pueden mezclar en cualquier proporción sin separarse en fases distintas. Esta miscibilidad se debe a la similitud en sus estructuras y fuerzas intermoleculares.

Estas propiedades físicas de los alkanos no solo determinan su comportamiento en diversas aplicaciones industriales, sino que también afectan su manipulación y uso en diferentes contextos. Comprender estas características es fundamental para aprovechar al máximo estos compuestos en la química y la ingeniería.

## 2.2.5. Obtención de los alcanos

### Fuentes naturales:

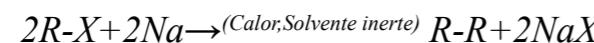
- Los alkanos se obtienen principalmente de fuentes naturales como el petróleo (gas natural y aceite crudo) y el carbón de hulla. Estas fuentes contienen mezclas complejas de hidrocarburos que pueden ser separadas y purificadas.

### A escala industrial:

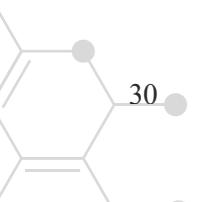
- La destilación fraccionada del petróleo es el método más común para obtener alkanos a escala industrial. Este proceso separa los hidrocarburos en fracciones basadas en sus puntos de ebullición.

### En laboratorio:

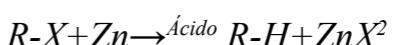
- Reacción de Wurtz:** Involucra la reacción de dos halogenuros de alquilo en presencia de sodio metálico, produciendo un alcano de cadena más larga.



Ejemplo:



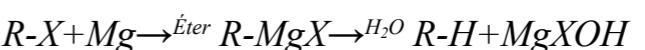
- Reacción de un halogenuro de alquilo con metal en medio ácido:** Un halogenuro de alquilo reacciona con zinc y ácido para formar un alcano.



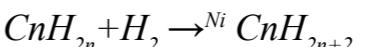
Ejemplo:



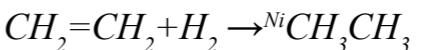
- Reducción de halogenuros de alquilo:** El halogenuro de alquilo reacciona con magnesio en éter etílico para formar un reactivo de Grignard, que luego se hidroliza.



- Reducción catalítica de alquenos:** Los alquenos se reducen con hidrógeno en presencia de un catalizador como níquel, platino o paladio.



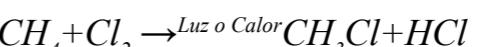
Ejemplo:



## 2.2.6. Reacciones de los alcanos

### Halogenación:

- Los alkanos reaccionan con halógenos (F, Cl, Br, I) en presencia de luz ultravioleta o calor, sustituyendo los átomos de hidrógeno por átomos de halógeno.

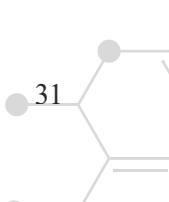
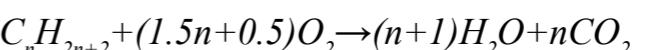


Ejemplo:

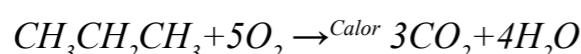


### Oxidación o combustión:

- La combustión es una oxidación rápida que convierte los alkanos en dióxido de carbono y agua.



Ejemplo:



**Craqueo e hidrocraqueo:** El craqueo catalítico descompone hidrocarburos de cadena larga en hidrocarburos más pequeños a altas temperaturas, produciendo gasolina y otros productos. En el hidrocraqueo, se agrega hidrógeno para producir hidrocarburos saturados. (Figura 2.4).

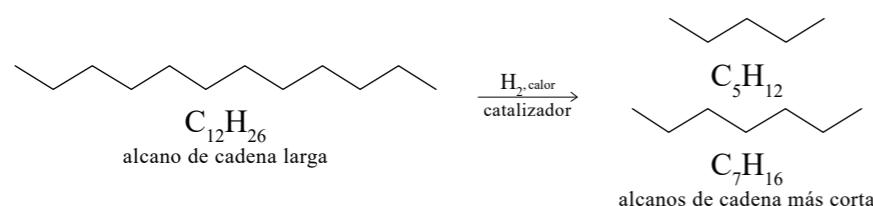
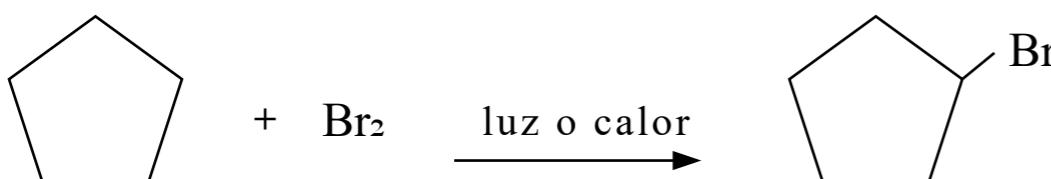


Figura 2.4 Craqueo catalítico.

## 2.2.7. Reacciones de cicloalcanos

**Cicloalcanos:** Los cicloalcanos, o denominados también alcanos cílicos, presentan propiedades y reacciones similares a las de sus análogos de cadena abierta, aunque con algunas diferencias debido a la tensión angular y torsional en sus anillos.

A continuación, un ejemplo de reacción de halogenación un cicloalcano.



## 2.2.8. Alcanos y cicloalcanos en ciencias pecuarias

- Gases licuados como el propano y butano:** Estos alcanos, que son gases a temperatura y presión ambiente, se licuan fácilmente y se almacenan en cilindros a baja presión como gas licuado de petróleo (GLP). Debido a su combustión limpia, son ideales como combustibles en calentadores y cocinas de granjas. Además, su uso como propelentes en latas de aerosoles ha contribuido a la protección de la capa de ozono como sustituyentes de CFCs.
- Solventes y combustibles (pentano a octano):** Los alcanos con 5 a 8 átomos de carbono son líquidos volátiles utilizados principalmente como componentes de la gasolina. La volatilidad y las propiedades antidetonantes de estos compuestos, medidas por su número de octano, son esenciales para el funcionamiento eficiente de los motores en equipos agrícolas.

- Lubricantes y calefacción (alcanos de cadena larga):** Los alcanos con más de 16 átomos de carbono se utilizan como lubricantes y combustibles para calefacción en las granjas. La parafina, un sólido purificado de alcanos de alta masa molecular, se emplea en diversas aplicaciones, desde impermeabilización hasta fabricación de velas.

## 2.2.9. Los alcanos en la nutrición animal.

Los **n-alcanos** son hidrocarburos saturados presentes de forma natural en la cutícula de las plantas y se han utilizado ampliamente como marcadores dietéticos para estimar la composición botánica de la dieta consumida por los animales. Esta técnica es esencial para monitorear y optimizar la nutrición animal, especialmente en sistemas de pastoreo donde la ingesta directa es difícil de medir (10).

La metodología se basa en que diferentes especies vegetales poseen perfiles únicos de n-alcanos, lo que permite identificar y cuantificar las plantas ingeridas por los animales analizando las concentraciones de estos compuestos en las heces. Al comparar los perfiles de n-alcanos de las heces con los de las plantas disponibles en el área de pastoreo, es posible determinar la composición de la dieta (11).

Además de estimar la composición botánica de la dieta, los n-alcanos se emplean para calcular el consumo voluntario de materia seca y la digestibilidad de los nutrientes. Esto se logra administrando alkanos sintéticos de cadena par como marcadores externos y analizando su recuperación en las heces, lo que proporciona información sobre la ingesta y la eficiencia digestiva (12).

La precisión de esta técnica depende de factores como la variabilidad en la concentración de n-alcanos entre especies vegetales, la recuperación fecal de los marcadores y la correcta identificación de los perfiles de n-alcanos en las muestras analizadas. A pesar de estas consideraciones, el uso de n-alcanos como marcadores dietéticos es una herramienta valiosa en estudios de ecología nutricional y manejo de sistemas de pastoreo.

## 2.2.10. Otras aplicaciones de cicloalcanos:

- Disolventes y componentes de combustibles:** Los cicloalcanos se utilizan como disolventes debido a su capacidad para disolver una amplia gama de sustancias. Además, forman parte de los combustibles y productos veterinarios, mejorando la eficiencia energética y la formulación de medicamentos y cosméticos utilizados en el cuidado animal.
- Lubricantes y productos cosméticos:** Los aceites lubricantes y ciertos productos cosméticos para animales contienen cicloalcanos debido a sus propiedades químicas estables y su capacidad para reducir la fricción y el desgaste.

### 2.3. Alquenos

Los **alquenos**, también conocidos como **olefinas**, son hidrocarburos insaturados que se caracterizan por contener al menos un doble enlace carbono-carbono ( $C=C$ ) en su estructura molecular. Este doble enlace confiere a los alquenos una reactividad química distintiva, permitiéndoles participar en diversas reacciones de adición.

El término “olefina” tiene su origen en la capacidad de estos compuestos para formar productos aceitosos al reaccionar con halógenos. Por ejemplo, el etileno (el alqueno más simple) reacciona con cloro para producir dicloruro de etileno, un líquido aceitoso. Esta propiedad llevó a que se les denominara “olefinas”, derivado del latín “*oleum*” que significa “aceite”.

En la nomenclatura química moderna, el término “alqueno” es preferido para referirse a estos compuestos, aunque “olefina” sigue siendo ampliamente utilizado en contextos industriales y comerciales. Los alquenos desempeñan un papel fundamental en la química orgánica y en la industria petroquímica, sirviendo como precursores en la síntesis de polímeros, plásticos y otros productos químicos de gran importancia económica.

#### 2.3.1. Estructura y reactividad

El alqueno más sencillo es el eteno o etileno ( $H_2C=CH_2$ ). En los alquenos, el doble enlace presenta una densidad electrónica mayor (nucleófilos) que los enlaces simples debido a la presencia de dos electrones  $\pi$  debido a la hibridación  $sp^2$  los dos carbonos que forman el doble enlace (Figura 2.5). Estos electrones  $\pi$  son más reactivos con otros átomos electrófilos porque están localizados por encima y por debajo del plano del enlace doble. La energía de enlace del  $\pi$  es de aproximadamente 264 kJ/mol, lo que es menor que la energía del enlace sigma, que es de 347 kJ/mol.

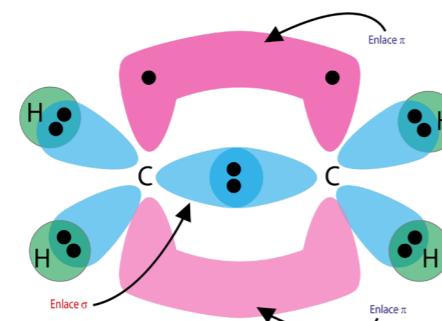


Figura 2.5 Hibridación  $sp^2$  para los carbonos que forman el doble enlace.

Los átomos de carbono en el doble enlace tienen hibridación  $sp^2$ , lo que resulta en ángulos de enlace de aproximadamente  $120^\circ$  debido al carácter p de los orbitales. Esta configuración hace que la molécula de los alquenos sea plana. El enlace  $\pi$  se forma por el solapamiento paralelo de los orbitales p, que son perpendiculares al plano de la molécula, lo que provoca un mayor acercamiento de los átomos de carbono en comparación con el enlace simple de los alkanos.

#### 2.3.2. Propiedades físicas y químicas

Los alquenos son hidrocarburos insaturados que se distinguen de los alkanos por la presencia de un doble enlace carbono-carbono ( $C=C$ ), lo que les confiere una reactividad significativamente mayor. Esta reactividad se manifiesta en diversas reacciones características, entre las que destacan:

- 1. Adición electrofílica:** Los alquenos tienden a reaccionar con electrófilos debido a la alta densidad electrónica del doble enlace. Por ejemplo, reaccionan con halógenos como ( $Cl_2$ ) y ( $Br_2$ ) para formar dihaluros vecinales o con ácidos halogénicos como ( $HCl$ ) y ( $HBr$ ), dando lugar a halogenuros de alquilo. Estas reacciones son altamente selectivas y están regidas por reglas como la de Markovnikov.
- 2. Polimerización:** Una de las aplicaciones industriales más importantes de los alquenos es su capacidad para formar polímeros. Por ejemplo, el etileno ( $C_2H_4$ ) se utiliza en la síntesis de polietileno mediante reacciones de polimerización catalizadas, produciendo materiales con amplia utilidad en envases, tuberías y otros productos comerciales.
- 3. Oxidación:** Bajo condiciones controladas, los alquenos pueden oxidarse para producir una variedad de compuestos oxigenados. Por ejemplo, la oxidación con permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ) en medio acuoso genera dioles vecinales, mientras que la oxidación con peróxidos produce epóxidos, utilizados como intermedios en síntesis orgánica.

#### 2.3.3. Nomenclatura de alquenos

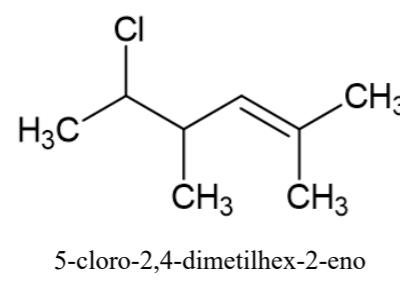
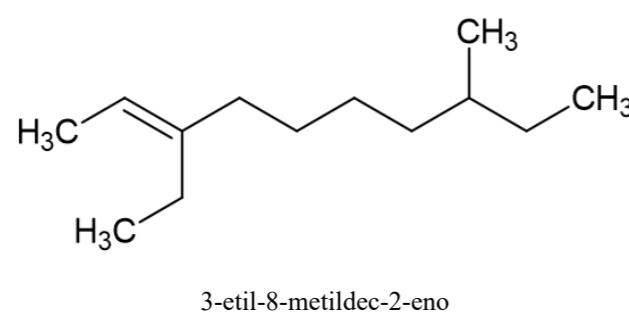
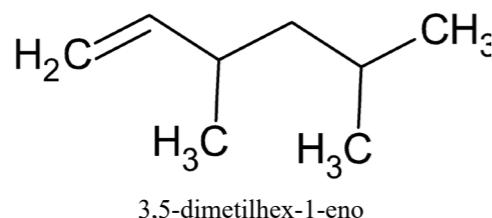
La nomenclatura de los alquenos se asemeja a la de los alkanos, pero con el sufijo **-eno** en lugar de **-ano**. La cadena principal debe ser la más larga que contenga el doble enlace, y la numeración comienza desde el extremo más cercano al doble enlace para otorgarle el menor localizador posible.

Tabla 2.5 Estructura Química y Nombre IUPAC.

Estructura Química	Nombre IUPAC
$CH_2=CH_2$	Eteno
$CH_3-CH=CH_2$	Propeno
$CH_2=CH-CH_3$	But-1-eno
$CH_3-CH=CH-CH_3$	But-2-eno
$CH_2=CH-CH_2-CH_3$	Pent-1-eno
$CH_3-CH=CH-CH_2-CH_3$	Pent-2-eno
$C_5H_6$ (Ciclo)	Ciclopenteno
$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_3$	3,5-Dimetilhex-1-eno
$CH_2=CH-CH_2-CH_2-CH_3$	3-Metilbut-1-eno
$CH_2=CH-CH_2-CH_2-CH_2$	Hex-1-eno
$CH_2=CH-CH_2-CH_3-CH_2$	Hex-3-eno

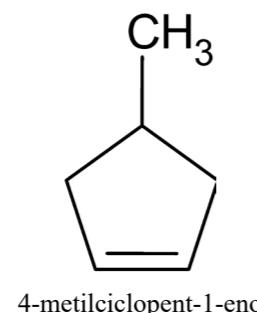
#### 2.3.4. Reglas de numeración y sustituyentes

La cadena principal debe contener el mayor número de átomos de carbono posible y el doble enlace. La numeración de la cadena comienza desde el extremo más cercano al doble enlace para otorgarle el menor localizador posible.

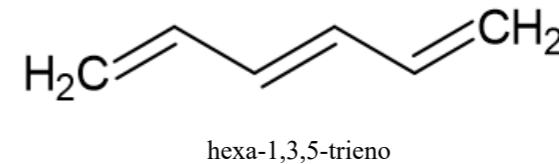
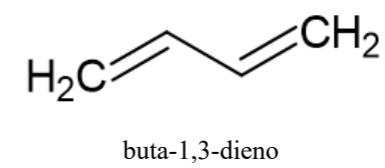


Cuando existen sustituyentes, se enumeran y ordenan alfabéticamente con sus respectivos localizadores, precediendo al nombre de la cadena principal. El doble enlace tiene prioridad sobre los sustituyentes en la numeración.

En compuestos cíclicos, si existe un solo doble enlace siempre se localiza entre los carbonos 1 y 2.



Para múltiples dobles enlaces, se utilizan los prefijos *di*, *tri*, *tetra*, etc.



### 2.3.5. Isomería cis-trans

Los alquenos pueden presentar isomería geométrica *cis-trans*. En un isómero *cis*, los grupos similares están en el mismo lado del doble enlace, mientras que en un isómero *trans*, los grupos similares están en lados opuestos del doble enlace. (Figura 2.6).

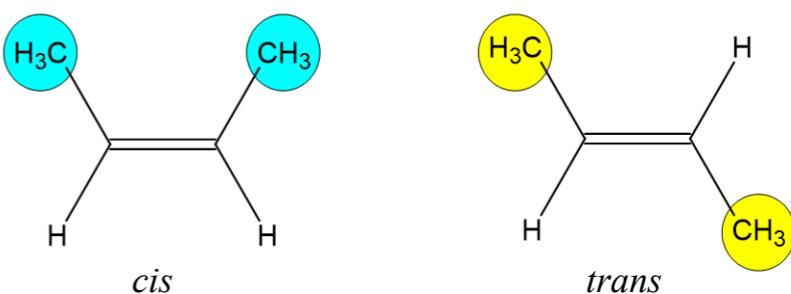


Figura 2.6 Ejemplos de alquenos con isomería cis y trans: cis-2-buteno y trans-2-buteno.

Si existen átomos o grupos idénticos enlazados a los carbonos del doble enlace, no se presentan isomería cis-trans. (Figura 2.7).

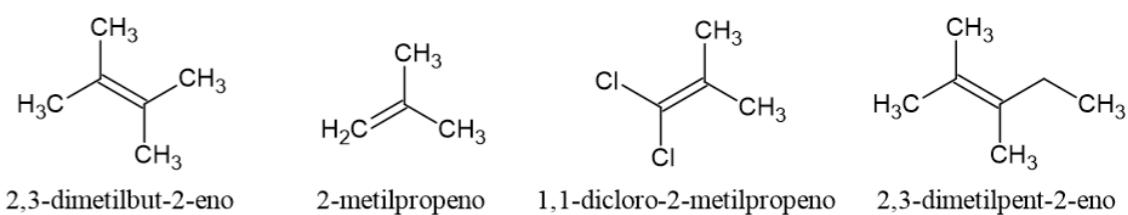
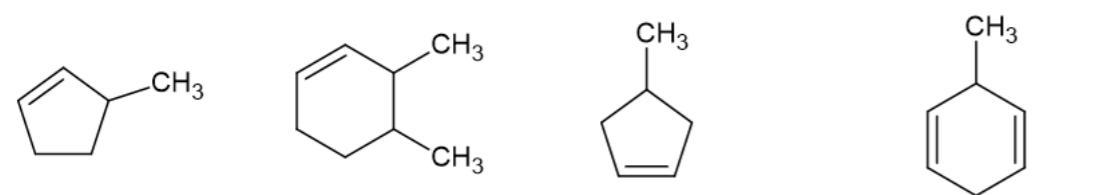


Figura 2.7 Alquenos que no tienen isomería cis y trans.

### 2.3.6. Cicloalquenos

Los cicloalquenos también pueden presentar isomería geométrica, pero en estos compuestos, los isómeros cis son más estables que los trans debido a las tensiones angulares y torsionales (Figura 2.8).



3-metilciclopenteno 3,4-dimetilciclohexeno 4-metilciclopenteno 3-metilciclohex-1,4-dieno

Figura 2.8 Ejemplos de ciclo alquenos.

### 2.3.7. Radicales derivados de alquenos

Los alquenos pueden actuar como radicales sustituyentes, y sus nombres varían según la posición y el tipo de sustituyente.



vinilo o etileno

alilo o 2-propenil

Figura 2.9 Ejemplos de radicales de alquenos.

### 2.3.8. Propiedades físicas de los alquenos

Los alquenos presentan propiedades físicas que dependen en gran medida de su estructura molecular y, específicamente, del doble enlace carbono-carbono (C=C). Este enlace introduce cierta polaridad en la molécula, especialmente en el caso de los alquenos con isomería cis-trans, donde los isómeros cis suelen mostrar un dipolo neto que influye en las propiedades físicas. Sin embargo, el doble enlace no afecta directamente todas las propiedades físicas, ya que estas están más relacionadas con la distribución electrónica en la molécula y la hibridación  $sp^2$  del carbono en el enlace doble, que genera una geometría planar que permite cierta interacción intermolecular a través de fuerzas de Van der Waals.

### 2.3.9. Estado físico y longitud de la cadena

El estado físico de los alquenos a temperatura ambiente varía según la longitud de la cadena carbonada. Los alquenos de cadena corta, como el eteno, propeno y buteno, son gases a temperatura ambiente debido a sus débiles fuerzas de dispersión y baja masa molecular. A medida que el número de átomos de carbono aumenta (aproximadamente entre 5 y 18 átomos de carbono), los alquenos se encuentran en estado líquido, y aquellos con más de 18 átomos de carbono tienden a ser sólidos. Este cambio en el estado físico se debe al aumento en la masa molecular y a la mayor superficie de contacto entre las moléculas, que intensifica las fuerzas de Van der Waals.

### 2.3.10. Solubilidad y naturaleza no polar

Los alquenos, siendo predominantemente apolares, son insolubles en agua debido a la incapacidad de formar enlaces de hidrógeno o interacciones electrostáticas con el solvente polar. Sin embargo, son solubles en disolventes orgánicos apolares o de baja polaridad, como el alcohol, el éter y el benceno, donde las interacciones de dispersión de London predominan, permitiendo una buena solubilidad. Esta propiedad es clave en aplicaciones industriales, ya que facilita la mezcla de alquenos con otros compuestos orgánicos en diversas reacciones y procesos.

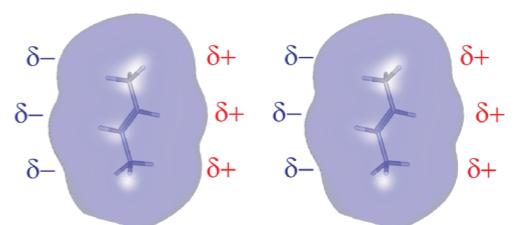


Figura 2.10 Fuerzas de dispersión de London entre 2 moléculas polarizables de but-2-eno.

### 2.3.11. Densidad

La densidad de los alquenos es típicamente baja y menor que la del agua, lo cual les permite flotar sobre esta. Los alquenos líquidos tienen densidades que oscilan entre 0.6 y 0.8 g/cm<sup>3</sup>, y aunque la densidad aumenta ligeramente con la longitud de la cadena carbonada debido a la mayor masa molecular, generalmente permanece por debajo de 1 g/cm<sup>3</sup>. Esta baja densidad se debe a la estructura apolar de los alquenos, que no permite una compactación molecular densa en estado líquido o sólido, siendo una propiedad compartida con otros hidrocarburos.

### 2.3.12. Puntos de ebullición

Los puntos de ebullición de los alquenos están determinados principalmente por la longitud de la cadena y la disposición estructural de las moléculas. Alquenos de menor tamaño, como el eteno (-104 °C) y el propeno (-47 °C), presentan puntos de ebullición bajos debido a su masa molecular reducida y a las débiles interacciones de Van der Waals. A medida que la cadena carbonada se alarga, los puntos de ebullición aumentan, como se observa en el 1-hepteno (115 °C) y el 3-octeno (122 °C). Además, los isómeros cis de alquenos suelen tener puntos de ebullición ligeramente superiores a los de sus contrapartes trans, debido a la presencia de un dipolo neto en la estructura cis que provoca interacciones intermoleculares más fuertes.

### 2.3.13. Puntos de fusión

Los puntos de fusión de los alquenos son generalmente más bajos que los de los alcanos correspondientes. El doble enlace restringe la rotación y afecta el empaquetamiento eficiente en la fase sólida, lo que disminuye la capacidad de las moléculas para interactuar fuerte-

mente entre sí en estado sólido. Como resultado, los puntos de fusión de los alquenos son menores, y esta propiedad se vuelve evidente especialmente en alquenos de mayor tamaño. En la tabla 2.7 se registran propiedades físicas de algunos alquenos.

Tabla 2.6 Propiedades fisicoquímicas de los alquenos.

Nombre	Fórmula Cond.	Peso Molecular (g/mol)	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Densidad (g/mL)
Eteno	CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub>	28.05	-169	-104	0.00118
Propeno	CH <sub>3</sub> -CH=CH <sub>2</sub>	42.08	-185	-47.6	0.00181
But-2-eno	CH <sub>3</sub> -CH=CH-CH <sub>3</sub>	56.11	-138.9	3.7	0.00248
1-Hexeno	CH <sub>2</sub> =CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -CH <sub>3</sub>	84.16	-140	63	0.673
Octadec-1-eno	CH <sub>2</sub> =CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>15</sub> -CH <sub>3</sub>	252.48	13	316	0.78

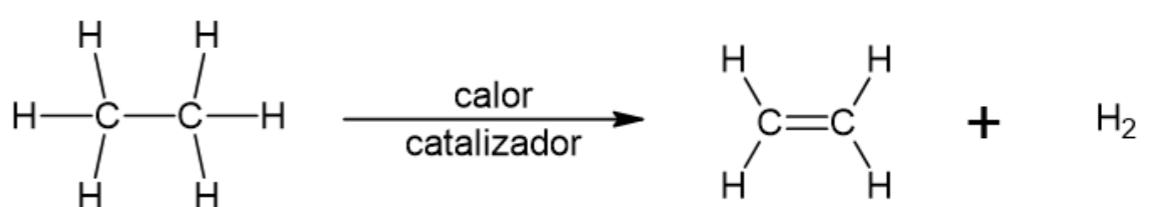
### 2.3.14 Propiedades químicas de alquenos

Los alquenos son más reactivos que los alkanos debido a la presencia de un enlace doble carbono-carbono (C=C), que facilita su participación en reacciones de adición, esenciales tanto en procesos industriales como en sistemas biológicos. Este doble enlace, compuesto por un enlace sigma y un enlace pi, es menos estable que los enlaces simples y, por lo tanto, más susceptible a la ruptura en presencia de reactivos adecuados. Esta característica permite que los alquenos sean precursores en la síntesis de una gran variedad de compuestos orgánicos.

Los alquenos pueden obtenerse a través de diferentes reacciones químicas, como la deshidrogenación de alkanos, la deshidratación de alcoholes y la eliminación de halogenuros de alquilo. Entre sus reacciones características, se destacan las reacciones de adición, en las que pueden reaccionar con haluros de hidrógeno, halógenos e incluso polimerizarse para formar largas cadenas de monómeros. La adición electrofílica es una de las reacciones más comunes de los alquenos, en la cual un reactivo añade parte de su estructura al alqueno en el sitio del doble enlace. Durante esta reacción, el enlace pi se rompe, formando dos enlaces sigma nuevos, lo que aumenta la estabilidad del compuesto resultante y permite la formación de una amplia gama de productos útiles.

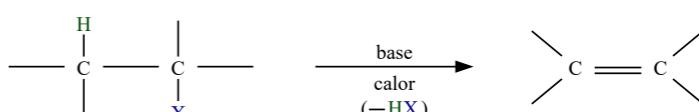
### 2.3.15. Obtención de alquenos

A nivel industrial se obtienen alquenos sencillos por deshidrogenación de alkanos utilizando catalizador metálico como platino, níquel, paladio, en caliente, obteniéndose una mezcla de productos. Otra forma más económica de producir alquenos de cadena corta a gran escala es por craqueo catalítico del petróleo, que consiste en calentar una mezcla de alkanos con aluminosilicatos. Lo desfavorable en estos dos métodos es la producción de mezclas de hidrocarburos que no es aplicable en laboratorio que se desea obtener productos puros.

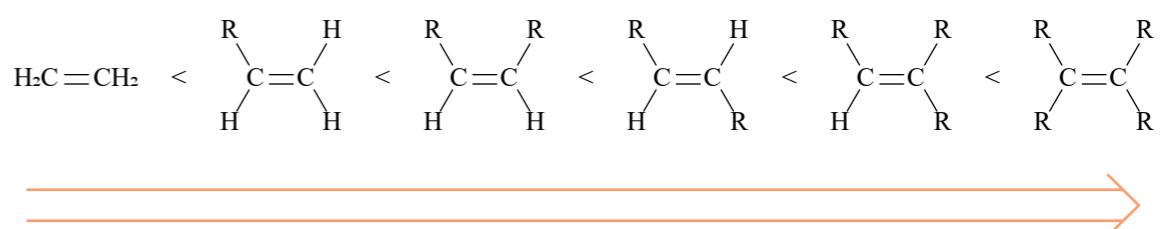


### 2.3.16. Deshidrohalogenación de halogenuros de alquilo (estereoselectiva)

La eliminación de los átomos del halogenuro de hidrógeno en átomo de carbono adyacentes requiere una base fuerte como el KOH en medio alcohólico y en caliente.



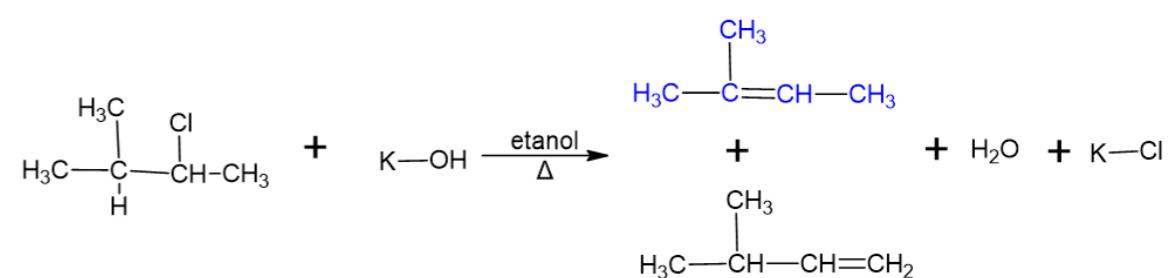
Se pueden obtener mezcla de alquenos, el que se forma en mayor porcentaje es el más estable, según la regla de Saytzeff, sería el más sustituido.



Menos estable

más estable

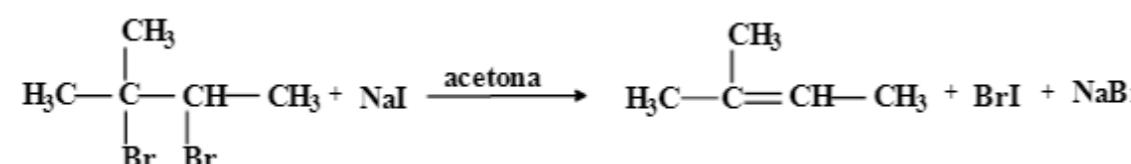
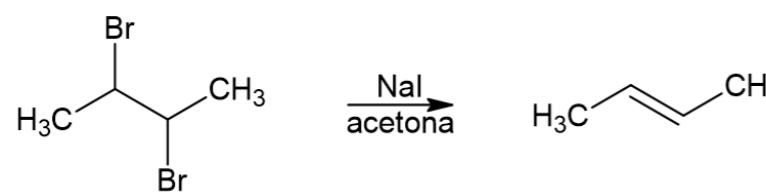
Por ejemplo, En la siguiente reacción, se obtiene en mayor porcentaje el 2-metil-2-buteno (color azul) por ser el alqueno más sustituido que el 3-metil-1-buteno.



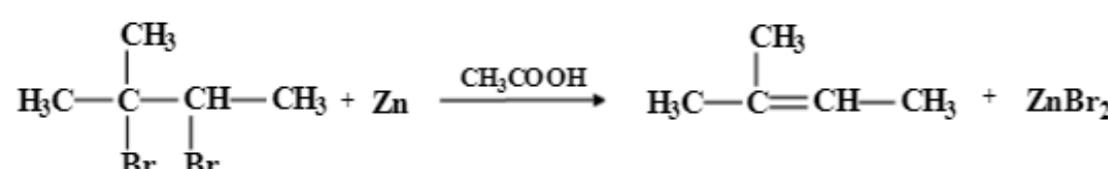
Si reacciona un halogenuro de alquilo primario se obtiene un solo producto, ya que tiene una sola opción de salida del hidrógeno.



### 2.3.17. Deshalogenación de dihaluros vecinales

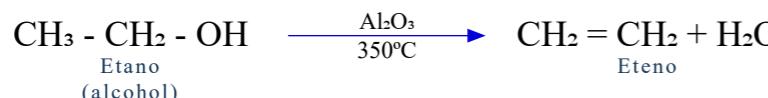
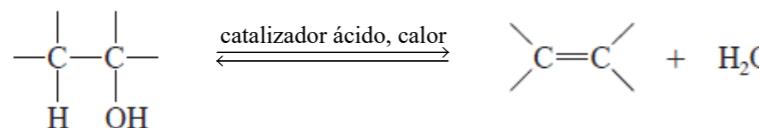


Se puede utilizar como reactivo el zinc metálico en medio ácido débil.



### 2.3.18. Deshidratación de alcoholes

Los alcoholes se deshidratan cuando se calientan en presencia del óxido de aluminio o ácidos como el sulfúrico para convertirse en alquenos en una reacción de equilibrio.



También se puede utilizar ácido fosfórico  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , Sulfato ácido de potasio  $\text{KHSO}_4$ , Cloruro de fosforilo  $\text{POCl}_3$  en piridina que es menos ácido.

### 2.3.19. Reacciones de los alquenos

Los alquenos contienen el grupo funcional del doble enlace, en el que el enlace sigma  $\alpha$  es firme y el enlace pi  $\pi$  es débil, las reacciones se dan por la ruptura de este enlace débil y entonces la adición de un reactivo forma dos enlaces fuertes sigma.

Una reacción en la que se combina dos sustancias para producir una sola se conoce como reacción de adición, en este caso favorecida por la existencia de una nube de electrones pi sobre y debajo del plano que atrae átomos deficientes de electrones del reactivo que se

adiciona, actuando como una base. Los átomos del reactivo adicionado funcionarán como ácidos, es decir, como reactivo electrofílico, de ahí su nombre de adición electrofílica.

Otros reactivos que buscan un electrón son los radicales libres, por lo que los alquenos reaccionan por adición radicalaria.

Los alquenos, por la presencia de grupos alquilo en su estructura, al igual que los alkanos pueden atravesar reacciones de sustitución. Dependerá de las condiciones de reacción, de la especie reactiva, de la molécula del alqueno, para que se dé una adición o una sustitución.

### 2.3.20. Reacciones de adición

Al adicionar reactivos adecuados al doble enlace de los alquenos se va a formar una gran variedad de grupos funcionales. Estas reacciones seguirán mecanismos similares, en el que primeramente la densidad electrónica del enlace pi atrae al electrófilo y forma un enlace sigma con uno de los carbonos, mientras que el otro carbono forma un carbocatión que luego reacciona con el nucleófilo que generalmente es débil para formar un enlace sigma.

A continuación, tenemos un resumen de las reacciones de adición a los alquenos, en el que se observa el nombre de la reacción química, los reactivos y condiciones utilizadas y los productos, de las cuales estudiaremos las más comunes.

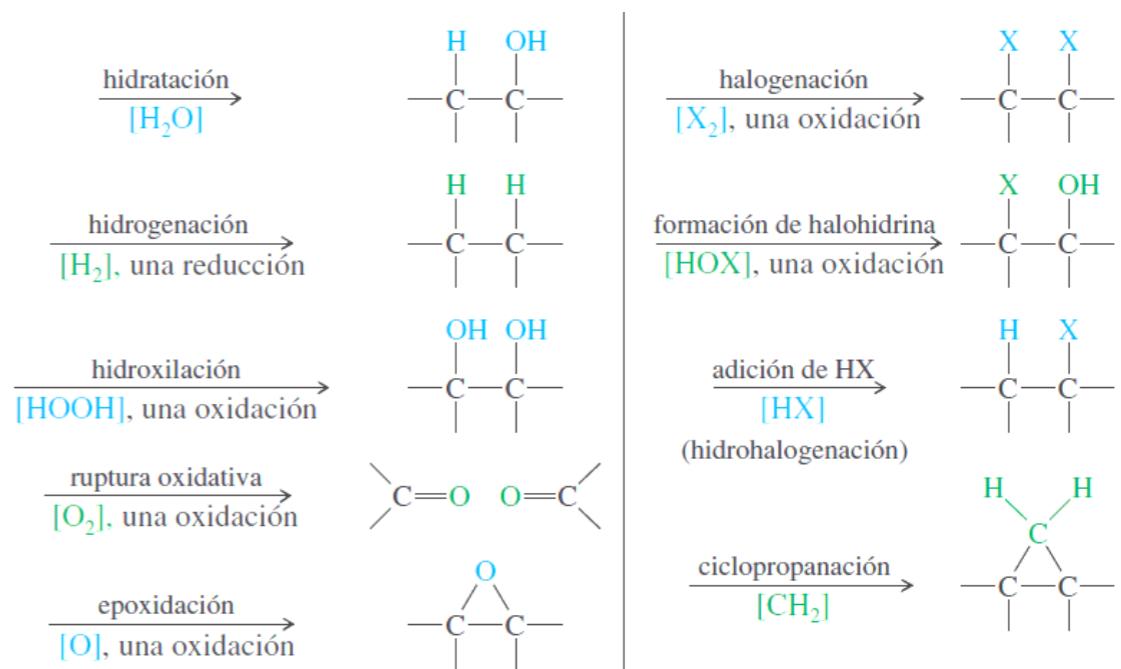
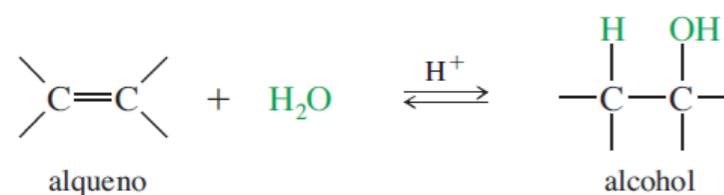


Figura 2.11 Resumen de reacciones de adición de alquenos (1).

### 2.3.21. Hidratación de alquenos

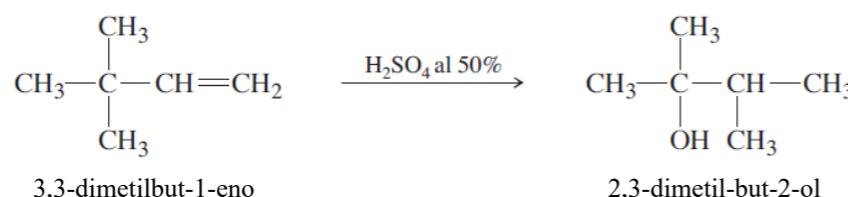
La adición de agua a los alquenos se realiza en medio ácido fuerte que actúa como catalizador para formar alcohol. Este proceso sigue la regla de Markovnikov. Los ácidos concen-

trados que se utilizan generalmente son el ácido sulfúrico y el ácido fosfórico con el fin de alcanzar el equilibrio a favor del alqueno y la adición de agua en exceso para favorecer el equilibrio a favor del alcohol.



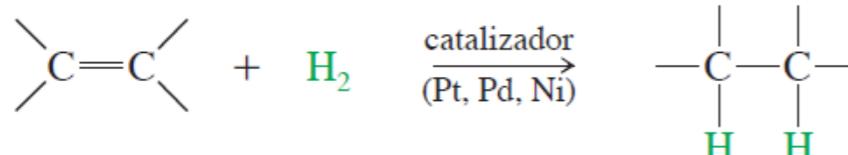
Se observa que el protón  $H^+$  se adiciona al carbono menos sustituido que tiene mayor número de hidrógenos y el hidroxi  $OH^-$  se enlazó al carbono más sustituido.

En algunos casos la hidratación puede efectuarse con reordenamientos del carbocatión intermedio para obtener el alcohol más estable.



### 2.3.22. Hidrogenación

Al igual que los alquinos, los alquenos pasan por una reacción de reducción al adicionar gas hidrógeno  $H_2$  al doble enlace y formar un alcano, en presencia de un catalizador metálico como Pd, Ni o Pt a temperatura ambiente y presión atmosférica. Como condiciones de reacción se requiere que el alqueno esté mezclado con alcohol o ácido acético y se agita moderadamente durante la reacción. Este proceso se lleva a cabo por catálisis heterogénea.

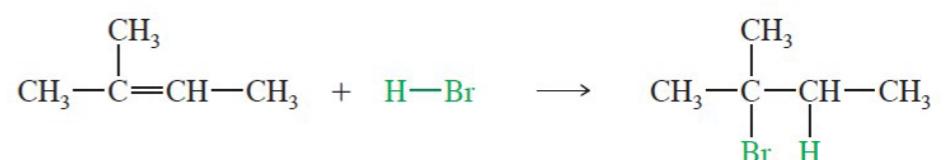


## Ejemplo

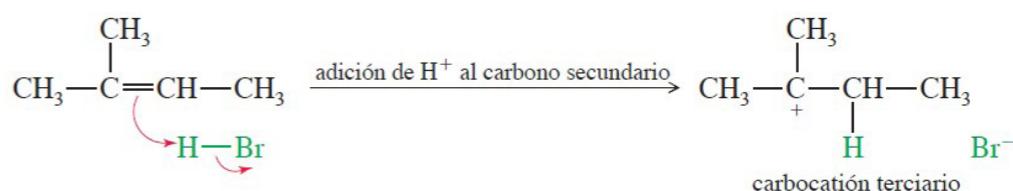


### 2.3.23. Hidrohalogenación de alquenos o adición de halogenuros de hidrógeno

El protón actúa como electrófilo, siendo atacado por el alqueno en la primera etapa. En esta reacción se pueden utilizar como reactivos HF, HCl, HBr, HI.



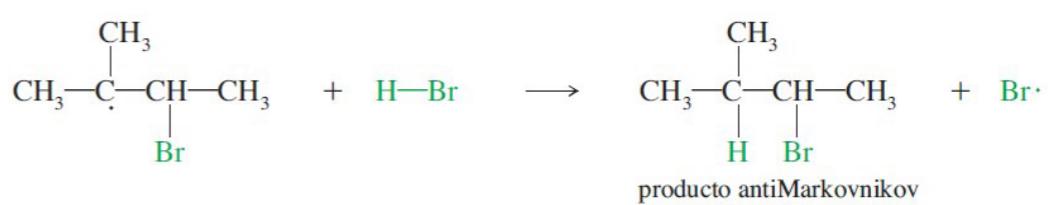
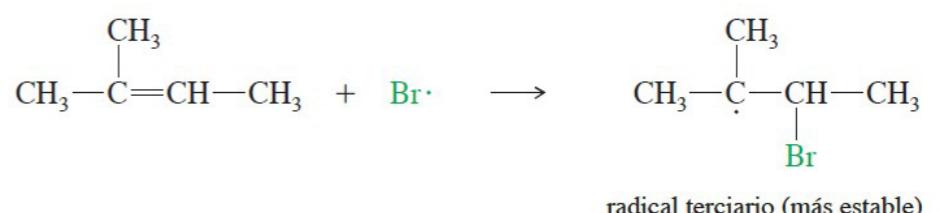
En el ejemplo se obtiene un solo producto debido a que el carbocatión más estable es el terciario que el secundario, es una reacción regioselectiva que cumple la regla de Markovnikov



Luego el ion bromuro tiene un acercamiento con el carbocatión y formaría el halogenuro de alquilo respectivo.

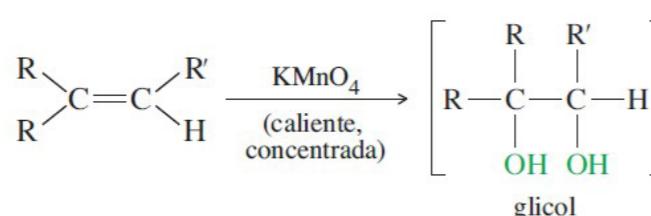


La reacción de adición de halogenuros de hidrógeno a los alquenos también se da por radicales libres en donde los alquenos asimétricos reaccionan con los radicales bromuros formados (electrófilos) por la presencia de peróxidos, no sigue la regla de Markovnikov, se produce un intermediario que sería el radical terciario más estable, para luego completar el proceso y formar el halogenuro de alquilo.

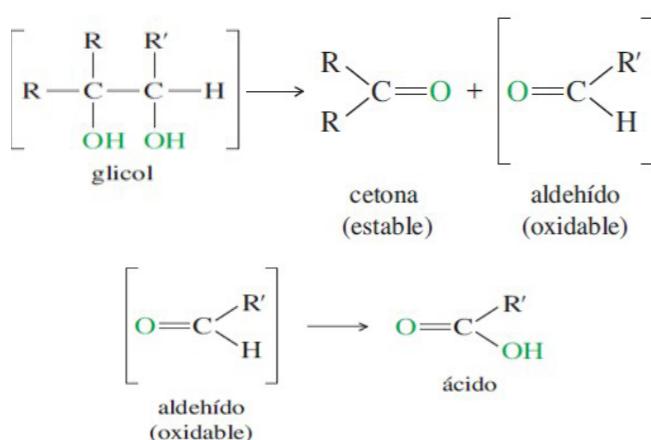


### 2.3.24. Oxidación de alquenos

Es una reacción de hidroxilación en presencia de un oxidante fuerte como el permanganato de potasio  $KMnO_4$  en solución concentrada, en medio ácido y en caliente, que provoque la ruptura oxidativa del glicol.

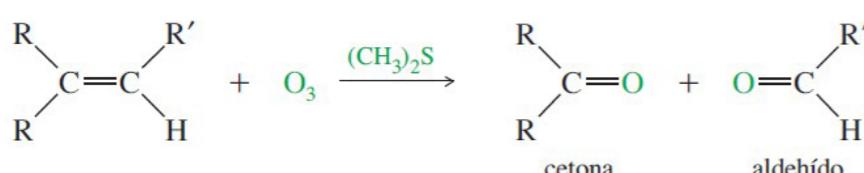


El enlace carbono-carbono se rompe y da lugar a dos grupos carbonilo que en primera instancia pueden ser cetonas y aldehídos. Los aldehídos en presencia de un oxidante se convierten en ácido carboxílico.



Si el doble enlace se encuentra en un carbono extremo, la oxidación completa produce anhídrido carbónico y agua.

La ozonólisis es una reacción moderada que oxida a un alqueno para formar una cetona y un aldehído, la diferencia con el permanganato es que los productos no se oxidan nuevamente. En esta reacción se forma un intermedio de reacción ozónico que es reducido por un agente reductor como el zinc o el sulfuro de dimetilo, cuyos productos son aldehídos, cetonas y sulfóxido de dimetilo (DMSO).



### 2.3.25. Alquenos en la agroindustria y en las ciencias pecuarias

Los alquenos, debido a su alta reactividad y versatilidad química, tienen aplicaciones diversas en la agroindustria y las ciencias pecuarias. A continuación, se detallan algunos ejemplos significativos de estos compuestos en estos campos.

### 3. Eteno (etileno)

- **Uso en agroindustria:** El etileno ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) es una hormona vegetal fundamental que regula el crecimiento y desarrollo de las plantas. Su capacidad para acelerar

la maduración de frutas lo convierte en una herramienta clave en la poscosecha de productos como tomates, plátanos y manzanas. Además, se emplea para la defoliación de cultivos como el algodón y la caña de azúcar, facilitando la cosecha al reducir el follaje antes de la recolección.

- **Uso en ciencias pecuarias:** Aunque menos común, el etileno se utiliza en tratamientos específicos de alimentos para animales, ayudando a mejorar la digestibilidad y el valor nutricional de ciertos productos vegetales destinados al consumo animal.

### 4. Propeno (propileno)

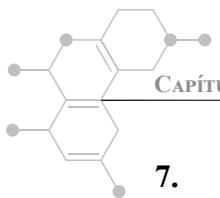
- **Uso en agroindustria:** El propeno ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ) es un intermediario importante en la síntesis de productos agrícolas, incluyendo plásticos y fibras sintéticas que se emplean para proteger cultivos. Además, es precursor del isopropanol, ampliamente utilizado como desinfectante y en la fabricación de herbicidas, apoyando la protección de cultivos frente a plagas y enfermedades.
- **Uso en ciencias pecuarias:** El propileno glicol, derivado del propeno, es utilizado como suplemento energético en la dieta de rumiantes para prevenir la cetosis, una condición metabólica que afecta la producción lechera, especialmente en vacas.

### 5. Buteno (butileno)

- **Uso en agroindustria:** El buteno ( $\text{C}_4\text{H}_8$ ) es utilizado en la fabricación de polímeros y copolímeros destinados a la producción de herramientas y equipos agrícolas. Estos materiales son esenciales para la construcción de implementos resistentes y duraderos que soportan las condiciones del campo.
- **Uso en ciencias pecuarias:** Derivados del buteno se emplean en la formulación de aditivos para alimentos animales, mejorando la estabilidad y efectividad de las raciones, lo cual es crucial para la salud y el rendimiento de los animales de granja.

### 6. 1-Hexeno

- **Uso en agroindustria:** El 1-hexeno ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ) es utilizado como un comonómero en la producción de polietileno de alta densidad (HDPE), un plástico altamente resistente que se emplea en la fabricación de contenedores y tuberías químicamente estables, ampliamente utilizados en el almacenamiento y manejo de productos agrícolas.
- **Uso en ciencias pecuarias:** Este material se utiliza también en la fabricación de componentes para establos y otras infraestructuras en instalaciones pecuarias, proporcionando durabilidad y resistencia a las condiciones ambientales.



## 7. 3-Octeno

- Uso en agroindustria:** El 3-octeno ( $C_8H_{16}$ ) forma parte de las feromonas utilizadas en trampas para el control biológico de plagas. Estas trampas atraen insectos específicos, lo cual ayuda a reducir las poblaciones de plagas sin recurrir a pesticidas químicos, una práctica sustentable en la agroindustria.
- Uso en ciencias pecuarias:** En el manejo de plagas en establos y zonas de cría, las feromonas sintéticas basadas en alquenos como el 3-octeno son útiles para el control de insectos nocivos, minimizando la infestación en áreas donde se alojan los animales.

## 8. Buteno y polímeros derivados de alquenos:

- Medicina veterinaria:** Los polímeros derivados de alquenos, como el buteno, se usan en materiales de dispositivos veterinarios, como envases y herramientas quirúrgicas resistentes. Estos materiales son inertes y proporcionan durabilidad en aplicaciones clínicas.
- Zootecnia:** Derivados poliméricos de alquenos son empleados en la construcción de infraestructura pecuaria, como coberturas de protección y equipamientos resistentes. Los materiales basados en buteno y otros alquenos ofrecen resistencia a la intemperie y contribuyen a mejorar la durabilidad de los establos y áreas de confinamiento.

Estos ejemplos demuestran cómo los alquenos son fundamentales en la agroindustria y las ciencias pecuarias, con aplicaciones que van desde la regulación del crecimiento vegetal hasta la producción de materiales de alta resistencia y aditivos alimenticios. La versatilidad química de los alquenos permite su integración en una variedad de procesos y productos que apoyan tanto la eficiencia como la sostenibilidad en la producción agrícola y pecuaria.

### 2.3.26. Los alquenos en feromonas: revolucionando el control integrado de plagas

La química orgánica ha revolucionado el control integrado de plagas a través de una solución tan elegante como efectiva: los alquenos presentes en las feromonas de insectos. Estas moléculas, ejemplificadas por el (E)-11-tetradecen-1-ol ( $CH_3-(CH_2)_2-CH=CH-(CH_2)_8-CH_2OH$ ), representan un triunfo de la evolución natural que la ciencia ha sabido aprovechar (13). La especificidad de su estructura molecular, particularmente la configuración E del doble enlace, no es un accidente sino el resultado de millones de años de evolución que han perfeccionado este sistema de comunicación química, permitiéndoles desarrollar estrategias de control con una precisión sin precedentes.

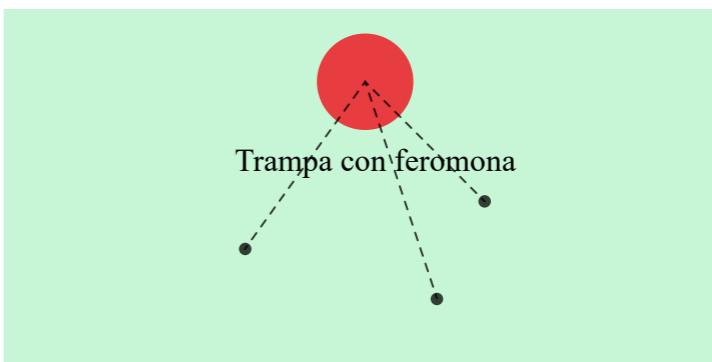
A diferencia de los pesticidas tradicionales, que actúan indiscriminadamente sobre especies nocivas y beneficiosas, las feromonas basadas en alquenos operan como mensajeros silenciosos y específicos, preservando la biodiversidad del agroecosistema y previniendo el desarrollo de resistencias (14). Esta selectividad, combinada con su capacidad para integrarse con otros métodos de control, las convierte en herramientas fundamentales para la agri-

cultura moderna. Su implementación ha generado casos de éxito notables tanto en cultivos extensivos como intensivos, demostrando su eficacia en el control de lepidópteros en maíz y soja, así como en el manejo de plagas en sistemas de producción bajo invernadero.

#### Estructura molecular:



Doble enlace (configuración E)



#### Beneficios en Agroindustria

- Control específico de especies
- Reducción del uso de pesticidas
- Monitoreo de poblaciones de plagas

Figura 2.12 Ilustración del uso de alquenos como feromonas para el control integrado de plagas.

El impacto económico y ambiental de esta tecnología merece especial atención, pues, aunque la inversión inicial en sistemas de feromonas puede parecer elevada, el análisis costo-beneficio revela ventajas significativas: reducción en el uso de pesticidas, preservación de enemigos naturales, menor incidencia de resistencias y acceso a mercados premium para productos orgánicos. Las líneas de investigación actuales, que exploran nuevos sistemas de liberación controlada y su integración con tecnologías digitales, sugieren que el potencial de esta tecnología está lejos de agotarse. En un mundo que enfrenta crecientes desafíos en seguridad alimentaria y sostenibilidad ambiental, los alquenos en feromonas emergen como una solución que no solo resuelve problemas técnicos, sino que también nos acerca a un ideal de agricultura sostenible y equilibrada con el medio ambiente.

## 2.4. Alquinos

Los alquinos son hidrocarburos insaturados que contienen al menos un triple enlace carbono-carbono debido a la hibridación sp (Figura 2.11) en los dos carbonos formando el doble enlace en su estructura. Esta característica les confiere propiedades físicas y químicas particulares que los distinguen de los alkanos y alquenos. El triple enlace implica la presencia de un enlace sigma ( $\sigma$ ) y dos enlaces pi ( $\pi$ ), lo que resulta en una geometría lineal alrededor del enlace triple con ángulos de  $180^\circ$ .

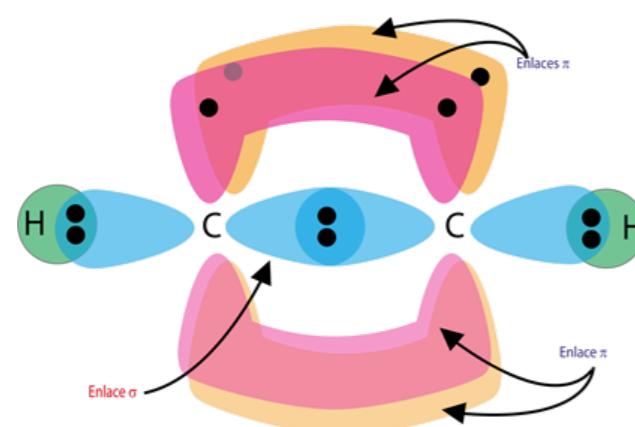


Figura 2.13 Hibridación sp para los carbonos que forman el triple enlace.

Los alquinos más simples son el etino (acetileno), y el propino, que se utilizan ampliamente en la industria química y en la síntesis de compuestos orgánicos más complejos. Además, los alquinos juegan un papel fundamental en diversas aplicaciones industriales y científicas, incluyendo la producción de plásticos, fármacos, y materiales de alta tecnología.

En las ciencias pecuarias y la agroindustria, los alquinos pueden ser relevantes en la síntesis de pesticidas y productos veterinarios, así como en la fabricación de materiales especializados utilizados en la construcción y mantenimiento de instalaciones agrícolas.

#### 2.4.1. Propiedades físicas

Los alquinos poseen varias propiedades físicas distintivas (Tabla 2.7) debido a la presencia de su triple enlace carbono-carbono ( $\text{C}\equiv\text{C}$ ). Estas propiedades incluyen:

**Puntos de ebullición y fusión:** Los alquinos tienen puntos de ebullición y fusión ligeramente más altos que los alquenos y alcanos correspondientes. Esto se debe a la mayor fuerza intermolecular causada por el triple enlace, aunque las diferencias no son significativas.

**Densidad:** Los alquinos son menos densos que el agua. Su densidad aumenta con la longitud de la cadena carbonada.

**Solubilidad:** Son generalmente insolubles en agua debido a su naturaleza no polar, pero son solubles en disolventes orgánicos como el éter, el benceno y el cloroformo.

**Polaridad:** Los alquinos son ligeramente más polares que los alquenos y los alcanos debido a la presencia del triple enlace. Esta polaridad se debe a la distribución electrónica alrededor del enlace triple.

**Geometría:** El triple enlace confiere una geometría lineal a los átomos de carbono involucrados, con ángulos de enlace de  $180^\circ$ . Esto les da una forma más rígida y lineal en comparación con los alquenos y los alcanos.

Tabla 2.7 Propiedades físicas de alquinos.

Nombre	Fórmula	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Densidad (g/cm³)
<b>Etino (Acetileno)</b>	$\text{C}_2\text{H}_2$	-81.8	-84.0	0.62
<b>Propino</b>	$\text{C}_3\text{H}_6$	-102.7	-23.1	0.68
<b>Butino</b>	$\text{C}_4\text{H}_8$	-125.0	8.0	0.73
<b>1-Butino</b>	$\text{C}_4\text{H}_8$	-129.0	27.0	0.72
<b>2-Butino</b>	$\text{C}_4\text{H}_8$	-30.0	27.0	0.75

#### 2.4.2. Nomenclatura

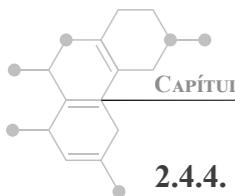
La nomenclatura de los alquinos sigue reglas específicas establecidas por la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) para asegurar que los nombres reflejen claramente la estructura y posición del triple enlace en la cadena carbonada. Aquí se presentan las reglas básicas y algunos ejemplos para ilustrar la nomenclatura de alquinos.

#### 2.4.3. Reglas básicas de nomenclatura IUPAC para alquinos

- Selección de la cadena principal:** Se elige la cadena de carbonos más larga que contiene el triple enlace como la cadena principal.
- Numeración de la cadena:** La cadena se numera de tal manera que el triple enlace tenga el número de localización más bajo posible.
- Identificación de sustituyentes:** Se nombran y numeran todos los grupos sustituyentes adheridos a la cadena principal.
- Uso del sufijo -ino:** El nombre de la cadena principal termina con el sufijo “-ino” para indicar la presencia de un triple enlace.
- Prefijos para múltiples triples enlaces:** Si hay más de un triple enlace, se utilizan los prefijos “di-”, “tri-”, etc., y se especifican las posiciones de los triples enlaces.

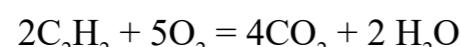
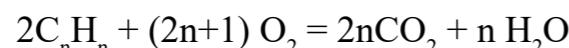
Tabla 2.8 Ejemplos de nomenclatura de alquinos.

Nombre IUPAC	Nombre Común	Fórmula Molecular	Estructura
Etino	Acetileno	$\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$
Propino	Metilacetileno	$\text{C}_3\text{H}_4$	$\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$
1-Butino	Etilacetileno	$\text{C}_4\text{H}_6$	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
2-Butino	Dimetilacetileno	$\text{C}_4\text{H}_6$	$\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$
1-Pentino	Propilacetileno	$\text{C}_5\text{H}_8$	$\text{CH}_2=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$
2-Pentino	Metilacetileno	$\text{C}_5\text{H}_8$	$\text{CH}_3-\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

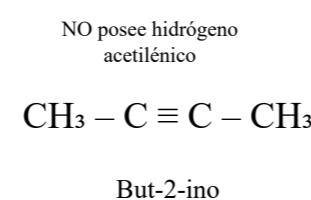
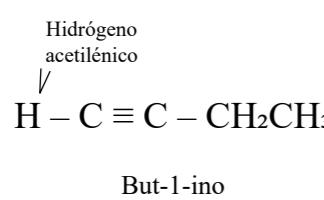


#### 2.4.4. Propiedades químicas de alquinos.

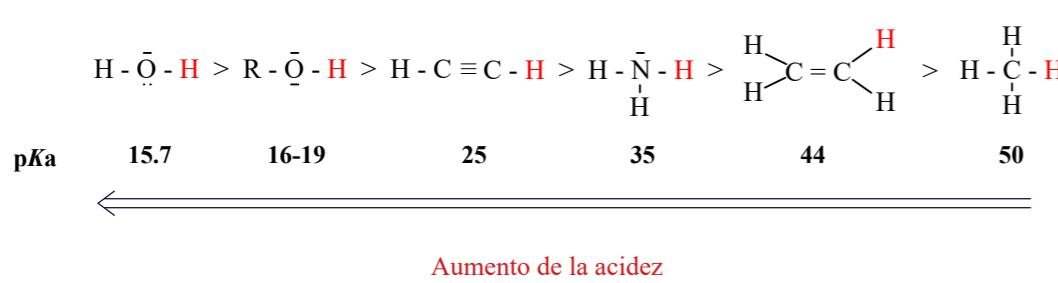
Al igual que los alkanos y alquenos son combustibles, reaccionan con el oxígeno para formar gas carbónico, agua y energía en forma de calor. El triple enlace es inestable, altamente energético, por lo que el acetileno es utilizado en los sopletes oxiacetilénico y como materia prima en la industria química, hoy reemplazado por el etileno mucho más fácil y seguro de manejarlo.



Las propiedades químicas se presentan de acuerdo con la posición del triple enlace, si se encuentra en un carbono extremo o terminal, el hidrógeno acetilénico le da mayor acidez pudiendo reaccionar con bases como el amiduro de sodio y formar el ion acetiluro o ión alquinuro.



Los carbonos del triple enlace presentan mayor electronegatividad debido a la hibridación sp, presentando mayor acidez que los alkanos y alquenos, con un  $pK_a=25$



#### 2.4.5. Obtención de alquinos

Los alquinos pueden obtenerse mediante diversas reacciones químicas que permiten la formación del triple enlace carbono-carbono. A continuación, se describen algunas de las reacciones más comunes para la síntesis de alquinos.

##### 2.4.5.1. Deshidrohalogenación de dihaluros de alquilo

La deshidrohalogenación de dihaluros de alquilo es un método común para obtener alquinos. Esta reacción involucra la eliminación de dos moléculas de haluro de hidrógeno (HX) de un

dihaluro de alquilo en presencia de una base fuerte, como el hidróxido de potasio (KOH) o el sodio amida ( $NaNH_2$ ).



##### 2.4.5.2. Deshidrohalogenación de halogenuros de vinilo

Los halogenuros de vinilo pueden someterse a una deshidrohalogenación para formar alquinos. Este método también requiere el uso de una base fuerte para promover la eliminación del haluro de hidrógeno (HX).



##### 2.4.5.3. Alquilación de acetiluros

La alquilación de acetiluros es una reacción en la que un acetiluro de sodio reacciona con un haluro de alquilo ( $R-X$ ) para formar un alquino. Esta reacción es útil para la síntesis de alquinos más largos a partir de acetiluro de sodio y haluros de alquilo.



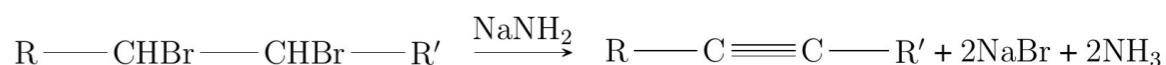
##### 2.4.5.4. Deshidratación de alcoholes

La deshidratación de alcoholes puede llevar a la formación de alquinos mediante la eliminación de una molécula de agua ( $H_2O$ ) en presencia de un catalizador ácido como el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

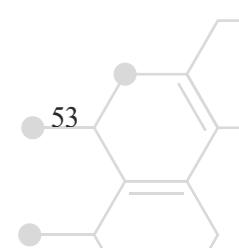
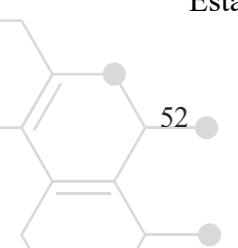


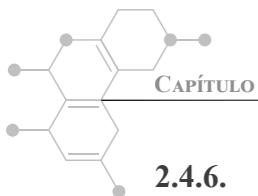
##### 2.4.5.5. Eliminación de dihaluro de alquilo

Otra reacción para la obtención de alquinos es la eliminación de dihaluros de alquilo en presencia de una base fuerte, lo que resulta en la formación de un alquino y la liberación de halogenuros de hidrógeno.



Estas reacciones proporcionan diversas rutas para la síntesis de alquinos, permitiendo la formación de estos compuestos de manera eficiente y efectiva en diferentes contextos químicos.





## 2.4.6. Reacciones de alquinos

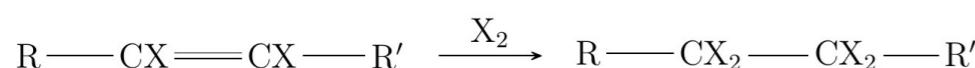
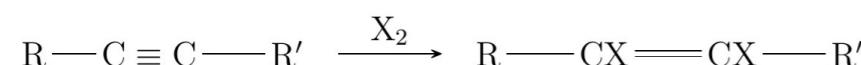
Los alquinos son reactivos versátiles en química orgánica y participan en una variedad de reacciones que permiten su transformación en diferentes tipos de compuestos. A continuación, se presentan algunas de las reacciones más comunes de los alquinos:

### 2.4.6.1. Adición electrofílica

Los alquinos pueden experimentar adiciones electrofílicas, en las cuales el triple enlace se rompe para formar enlaces simples o dobles. Estas reacciones son similares a las que experimentan los alquenos, pero requieren condiciones más severas.

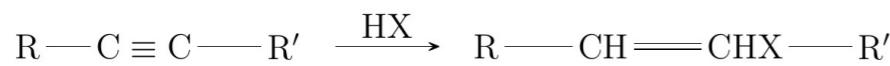
### 2.4.6.2. Adición de halógenos

La adición de halógenos ( $X_2$ ) como cloro ( $Cl_2$ ) o bromo ( $Br_2$ ) a los alquinos produce dihaluros de alqueno y, en exceso de halógeno, tetrahaluros de alqueno.



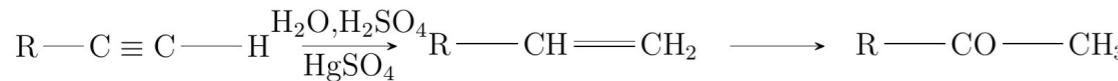
### 2.4.6.3. Adición de halogenuros de hidrógeno

La adición de halogenuros de hidrógeno ( $HX$ ) a los alquinos produce halogenuros de alquenilo y, en exceso de ( $HX$ ), dihalogenuros de alquilo.



### 2.4.7. Hidratación

La hidratación de alquinos en presencia de un catalizador ácido y un mercurio ( $Hg$ ) produce cetonas a través de un enol intermedio.

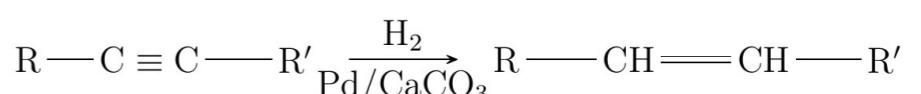


### 2.4.8. Reducción

Los alquinos pueden reducirse a alquenos o alcanos utilizando hidrógeno en presencia de un catalizador.

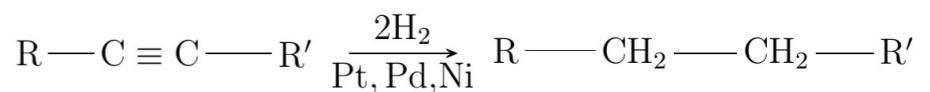
### 2.4.8.1. Reducción catalítica a alquenos

La reducción parcial de un alquino en presencia de un catalizador de Lindlar produce alquenos cis.



### 2.4.8.2. Reducción completa a alcanos

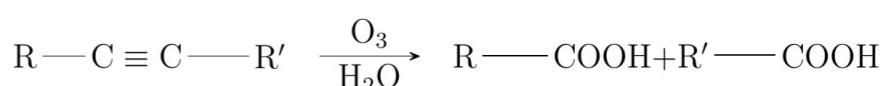
La reducción completa de un alquino en presencia de un catalizador metálico produce alcanos.



### 2.4.9. Ozonólisis

La ozonólisis de alquinos rompe el triple enlace para formar ácidos carboxílicos o cetonas, dependiendo de los sustituyentes presentes en el alquino.

Estas reacciones muestran la versatilidad de los alquinos y su capacidad para participar en una amplia variedad de transformaciones químicas, lo que los convierte en intermediarios importantes en la síntesis orgánica.



### 2.4.10. Polimerización

La polimerización es una reacción de adición de un radical, un anión o un catión, en donde el monómero pasa a ser parte de un polímero con todos sus átomos, es decir el polímero es la suma de los monómeros de manera repetitiva. En este proceso existe una reordenación de los átomos y se agregan los monómeros gracias a la existencia de dobles y triples enlaces.

La polimerización de alquinos se produce gracias a la formación de una estructura reactiva que le permite enlazarse con otras moléculas de alquino y formar estructuras polímeros de alto peso molecular. Un ejemplo tenemos la formación del benceno con el monómero acetileno.

## CAPÍTULO III

### 3. Hidrocarburos aromáticos

#### 3.1. Introducción

Los hidrocarburos son compuestos formados exclusivamente por carbono e hidrógeno y se dividen en dos grandes grupos: alifáticos y aromáticos. Entre los aromáticos, el benceno es el más representativo, y sus propiedades físicas y químicas influyen en muchos de sus derivados. La fórmula molecular del benceno es  $(C_6H_6)$ . Históricamente, el término <<aromático>> se usó para describir sustancias con olores distintivos como el benzaldehído, el tolueno y el benceno, aunque actualmente el término se refiere a su estructura química y no a su olor.

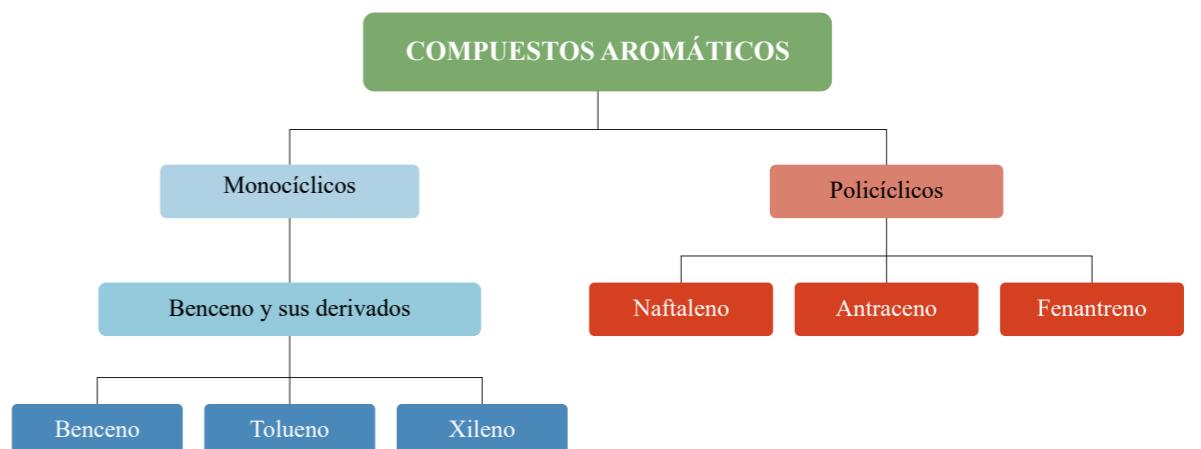
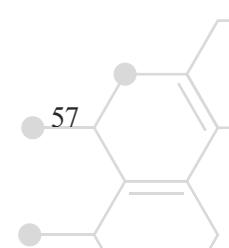


Figura 3.1 Clasificación de los compuestos aromáticos.

En el siglo XIX, el benceno se obtenía del alquitrán de hulla, pero hoy se produce a partir del petróleo. Los hidrocarburos aromáticos pueden ser monocíclicos, (Figura 3.1) como el benceno, o policíclicos, como el naftaleno, antraceno y fenantreno. Estos compuestos son comunes en combustibles, solventes, pesticidas y productos farmacéuticos, aunque muchos son carcinógenos y representan riesgos significativos para la salud y el medio ambiente.

El concepto de aromaticidad incluye compuestos como el benceno y sus derivados, así como sistemas policíclicos con enlaces  $\pi$  deslocalizados que confieren estabilidad y reactividad características.

El benceno fue aislado por primera vez por Michael Faraday en 1825 y su estructura fue propuesta por August Kekulé en 1866. (Figura 3.2).



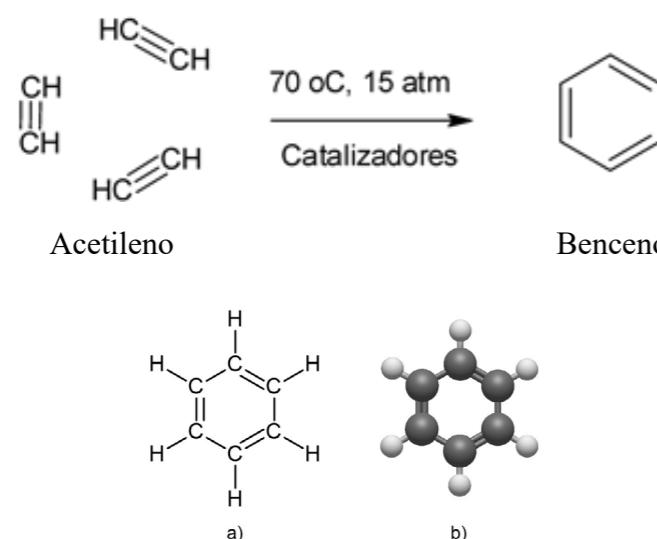


Figura. 3.2 Estructuras del benceno, a) De Kekulé. b) de bolas y varillas

### 3.2. Estructura y aromaticidad

El benceno tiene una estructura hexagonal plana con enlaces carbono-carbono de igual longitud, intermedios entre simples y dobles debido a la deslocalización de electrones. Su punto de ebullición es de 80.1 °C y su punto de fusión es de 5.5 °C, lo que lo hace un líquido volátil a temperatura ambiente. Es poco soluble en agua, pero miscible con solventes orgánicos como etanol, éter y acetona. Su molécula no polar, debido a la simetría hexagonal y distribución uniforme de la carga electrónica, le confiere un olor dulce y característico. El benceno es menos reactivo que los alquenos por su estabilidad aromática, pero puede experimentar reacciones de sustitución como halogenación, nitración y sulfonación bajo condiciones adecuadas.

El benceno es un ejemplo clásico de un compuesto aromático. Se describe como un híbrido de resonancia, con seis electrones deslocalizados en tres enlaces  $\pi$ , equivalentes a tres enlaces dobles en el anillo de benceno.

La aromaticidad del benceno es una característica clave que confiere una estabilidad excepcional a esta molécula. Esta estabilidad se debe justamente a la deslocalización de los seis electrones  $\pi$  sobre los seis átomos de carbono del anillo hexagonal. Estos electrones se distribuyen uniformemente por encima y por debajo del plano del anillo, creando un sistema conjugado de enlaces dobles alternados. Las estructuras resonantes del benceno, representadas mediante dos formas equivalentes, reflejan esta deslocalización electrónica, que la hace menos reactiva frente a adiciones directas. Esta propiedad única del benceno y otros compuestos aromáticos es fundamental para su comportamiento químico, permitiendo reacciones de sustitución en lugar de adición y contribuyendo a su uso en una amplia gama de aplicaciones industriales y biológicas.

Para que un compuesto sea aromático, debe cumplir con los siguientes criterios:

- 1. Estructura cíclica:** Debe formar un anillo cerrado.
  - 2. Enlaces dobles conjugados:** Los enlaces deben alternarse, permitiendo la deslocalización de electrones.
  - 3. Planaridad:** La estructura debe ser plana para permitir la superposición de los orbitales p.
  - 4. Regla de Hückel\*\*:** Debe tener  $4n+2$  electrones  $\pi$ , donde n es un número entero (0, 1, 2, ...).

## Ejemplos:

- Benceno:** Tiene 6 electrones  $\pi$  ( $n=1$ ), cumpliendo la regla de Hückel.
  - Naftaleno:** Tiene 10 electrones  $\pi$  ( $n=2$ ), cumpliendo la regla de Hückel.
  - Ciclooctatetraeno\*\*:** Aunque cíclico y conjugado, no cumple con la regla de Hückel y no es aromático.
  - Ciclobutadieno:** Tiene 4 electrones  $\pi$  ( $n=1$ ), no cumpliendo la regla de Hückel, por lo tanto, no es aromático.

## Detalle de Cálculos:

## 1. Benceno:

$$4n+2=6 \text{ (para } n=1)$$

## 2. Naftaleno:

$$4n+2=10 \text{ (para } n=2\text{)}$$

### 3. Ciclooctatetraeno:

$4n+2=10$  (para  $n=2$ ), pero no es aromático

#### 4. Ciclobutadieno:

4n=4 (para n=1), no es aromático

Estos ejemplos ilustran cómo se aplica la regla de Hückel para determinar la aromaticidad en diferentes compuestos.

La aromaticidad se extiende a sistemas policíclicos como el naftaleno, el antraceno y el fenantreno (Figura 3.3 ).

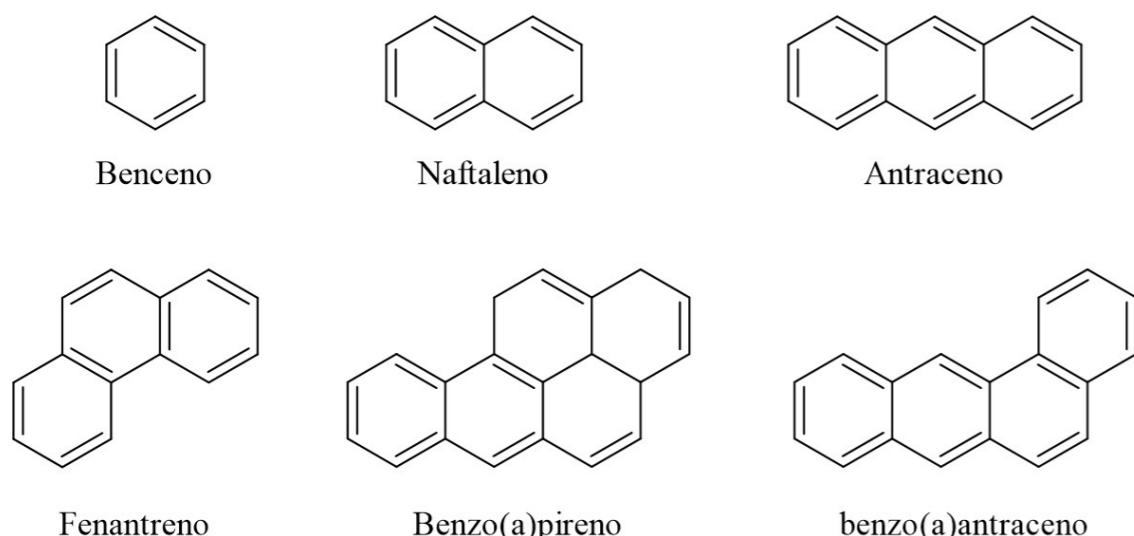


Figura. 3.3 Ejemplos de hidrocarburos aromáticos.

El benceno es un hidrocarburo aromático con un anillo hexagonal plano compuesto por seis átomos de carbono y seis átomos de hidrógeno (Figura 3.2). Todos los enlaces carbono-carbono en el benceno tienen la misma longitud, que es intermedia entre un enlace simple y un enlace doble. Esta peculiaridad se debe a la deslocalización de los electrones  $\pi$  en el anillo, lo que confiere una estabilidad adicional conocida como aromaticidad.

- **Punto de ebullición y fusión:** El benceno tiene un punto de ebullición de 80.1 °C y un punto de fusión de 5.5 °C, lo que lo convierte en un líquido volátil a temperatura ambiente.
- **Solubilidad:** Es poco soluble en agua, pero miscible en disolventes orgánicos como etanol, éter, acetona y otros hidrocarburos.
- **Polaridad:** El benceno es una molécula no polar debido a su simetría hexagonal y la distribución uniforme de la carga electrónica.
- **Apariencia y olor:** El benceno es un líquido incoloro a temperatura ambiente con un olor dulce y característico.
- **Reactividad:** A diferencia de los alquenos, el benceno es menos reactivo debido a su estructura aromática estable. Sin embargo, puede experimentar reacciones de sustitución, como la halogenación, la nitración y la sulfonación, y en condiciones especiales, reacciones de adición.
- **Toxicidad:** El benceno es altamente tóxico y carcinogénico para los seres humanos. La exposición prolongada puede causar problemas graves de salud, incluyendo daño al sistema nervioso, anemia, leucemia y otros tipos de cáncer.

Aunque el anillo aromático en sí mismo no se clasifica como un grupo funcional, los hidrocarburos aromáticos pueden contener diversos grupos funcionales unidos a este anillo, lo que da lugar a una amplia variedad de compuestos aromáticos sustituidos, (Figura 3.4). Por ejemplo:

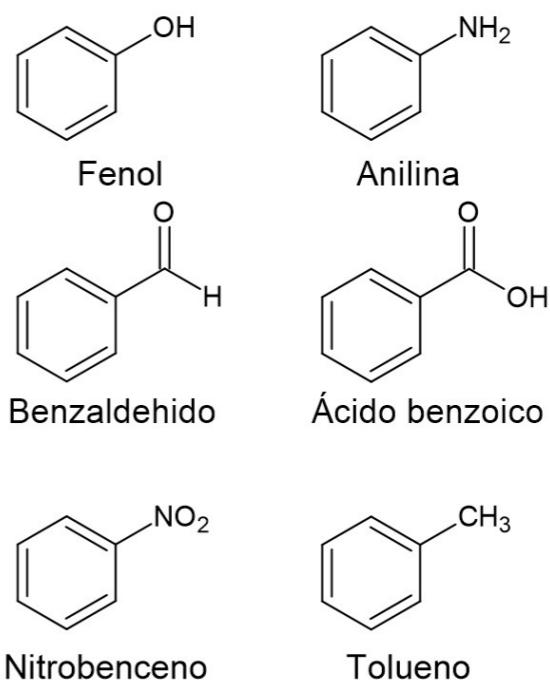


Figura. 3.4 Compuestos aromáticos mono sustituidos.

Estos grupos funcionales afectan la reactividad química y las propiedades físicas de los compuestos aromáticos, permitiendo una amplia gama de aplicaciones y reacciones químicas.

### 3.3. Estabilidad química

El benceno es más resistente a la reacción que los alquenos, que tienen enlaces dobles localizados y son más reactivos. La deslocalización de los electrones  $\pi$  aumenta la estabilidad del benceno, haciéndolo menos propenso a reacciones de adición que romperían el anillo aromático. Esta notación también se emplea para representar compuestos aromáticos con varios anillos, como el naftaleno, el antraceno y el fenantreno, (Figura 3.5). El benceno es menos reactivo que los alquenos por su estabilidad aromática, pero puede experimentar reacciones de sustitución como halogenación, nitración y sulfonación bajo condiciones adecuadas.

### 3.4. Representación del benceno

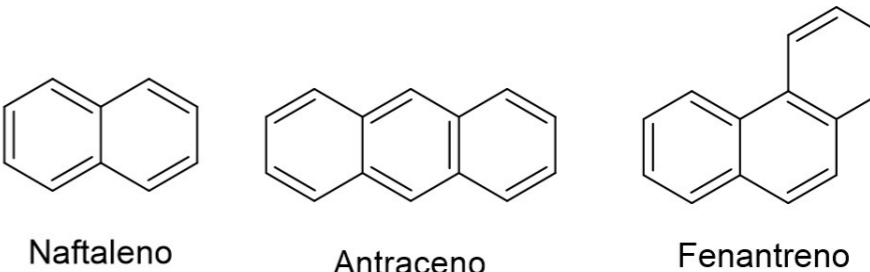
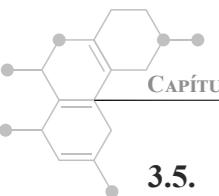


Figura.3.5 Compuestos aromáticos polinucleados.



### 3.5. Propiedades físico-químicas

Los compuestos aromáticos poseen características distintivas que resultan de su estructura resonante y de la deslocalización de electrones  $\pi$  en el anillo bencénico. A continuación, se describen algunas de las propiedades físico-químicas más relevantes de estos compuestos:

### 3.6. Punto de fusión y de ebullición

Los compuestos aromáticos generalmente tienen puntos de fusión y ebullición más altos en comparación con los hidrocarburos alifáticos de masa molecular similar. Esto se debe a las fuerzas intermoleculares más fuertes, como las interacciones de Van der Waals, que están presentes debido a la estructura plana y rígida del anillo aromático.

Tabla 3.1 Propiedades físico-químicas de algunos compuestos aromáticos.

Compuesto	Fórmula	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)
Benceno		5.5	80.1
Tolueno		-95.0	110.6
Naftaleno		80.3	218.0
Anilina		-6.3	184.1
Fenol		40.9	181.7

### 3.7. Solubilidad

La solubilidad de los compuestos aromáticos es importante en la química orgánica, determinada principalmente por las interacciones moleculares y las propiedades fisicoquímicas (15), las interacciones  $\pi$ - $\pi$  del anillo aromático juegan un papel decisivo en la solubilidad, estableciendo interacciones favorables con solventes no polares. Los factores determinantes inclu-

yen las interacciones intermoleculares (fuerzas de Van der Waals, interacciones  $\pi$ - $\pi$  stacking, enlaces de hidrógeno e interacciones dipolo-dipolo) y los parámetros físico-químicos como la constante dieléctrica del solvente, momento dipolar, polarizabilidad, temperatura y presión. Según Reichardt & Welton (2011), la comprensión de estos factores es fundamental para predecir y optimizar la solubilidad de compuestos aromáticos en diferentes sistemas de solventes.

El comportamiento de solubilidad varía significativamente según el tipo de solvente y la presencia de sustituyentes. La presencia de grupos funcionales específicos puede alterar drásticamente las propiedades de solubilidad: los grupos polares como hidroxilo, amino y carboxilo aumentan la hidrofilicidad, mientras que los sustituyentes alquilo incrementan la lipofilicidad (16). En solventes orgánicos no polares, las solubilidades típicas a 25°C muestran patrones característicos debido a las interacciones  $\pi$ - $\pi$  favorables y la baja energía de cavitación. Estas propiedades tienen implicaciones prácticas significativas en procesos de separación, purificación y análisis de compuestos aromáticos en química orgánica y aplicaciones industriales.

Tabla 3.2 Solubilidades de algunos compuestos aromáticos.

Compuesto Aromático	Solubilidad en Agua (g/L, 25°C)	Solubilidad en Hexano (g/L, 25°C)	Solubilidad en Etanol (g/L, 25°C)
Benceno	1.8	Miscible	Miscible
Tolueno	0.52	Miscible	Miscible
Naftaleno	0.031	56	60
Fenol	83	84	Miscible

### 3.8. Densidad

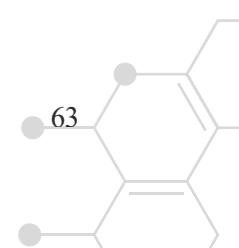
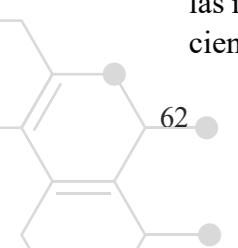
Los compuestos aromáticos tienden a tener densidades mayores que los hidrocarburos alifáticos debido a su estructura plana y compacta. La densidad también está influenciada por la masa molecular y la presencia de sustituyentes en el anillo aromático.

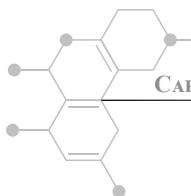
### 3.9. Nomenclatura

La nomenclatura de compuestos aromáticos se rige por las reglas de la IUPAC y también incluye nombres comunes para ciertos compuestos bien conocidos. A continuación, se presentan las reglas básicas y ejemplos de cada tipo de nomenclatura (Tabla 3.2.).

#### 3.9.1. Reglas de nomenclatura IUPAC

Las reglas de nomenclatura IUPAC para compuestos aromáticos son sistemáticas y se utilizan para dar nombres claros y precisos a los compuestos. Estas reglas incluyen:





- Elección del anillo principal:** El anillo aromático principal es generalmente el benceno. Si hay más de un anillo, se elige el más grande o el que contiene más sustituyentes importantes.
- Identificación de sustituyentes:** Los sustituyentes en el anillo se nombran y se numeran de manera que los localizadores sean los más bajos posibles. La numeración comienza desde el carbono que está unido al sustituyente que tiene prioridad según el orden alfabético.
- Orden de los sustituyentes:** Los sustituyentes se enumeran en orden alfabético, y sus posiciones se indican con números.
- Uso de prefijos:** Se utilizan prefijos como di-, tri-, tetra-, etc., para indicar la cantidad de sustituyentes idénticos.

### 3.9.2. Nomenclatura común

La nomenclatura común incluye nombres tradicionales y usualmente más cortos para compuestos aromáticos que son ampliamente conocidos. Estos nombres no siempre siguen las reglas sistemáticas de la IUPAC, como se muestra en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Ejemplos de nomenclatura de compuestos aromáticos.

Nombre IUPAC	Nombre común	Estructura
Metilbenceno	Tolueno	
Hidroxibenceno	Fenol	
Aminobenceno	Anilina	
1,2-Dimetilbenceno	Ortoxileno	
1,4-Dimetilbenceno	Paraxileno	

1,3-Dimetilbenceno	Metaxileno	
Etanoato de fenilo	Acetato de fenilo	
Benceno-1,2-diol	Catecol	

### 3.10. Métodos de obtención de compuestos aromáticos

Los compuestos aromáticos, caracterizados por su estructura anular conjugada y estabilidad resonante, son esenciales en la química orgánica y tienen numerosas aplicaciones industriales. La obtención de estos compuestos puede realizarse a partir de fuentes naturales y mediante métodos de síntesis.

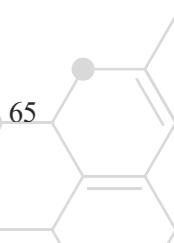
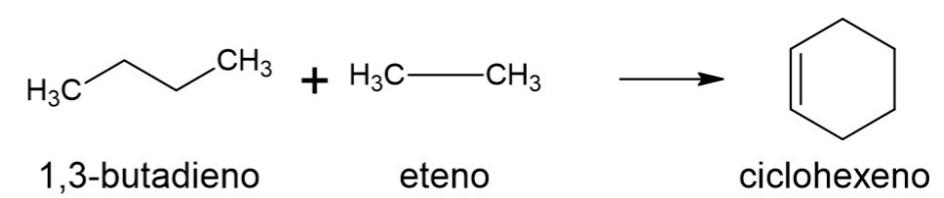
#### 3.10.1. Fuentes naturales

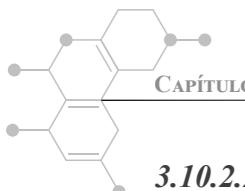
Los compuestos aromáticos se encuentran en diversas fuentes naturales. El benceno, tolueno, y xileno, conocidos colectivamente como BTX, se obtienen principalmente a partir del petróleo crudo y del alquitrán de hulla. Estos compuestos se producen en grandes cantidades durante el proceso de refinación del petróleo y la carbonización del carbón. El alquitrán de hulla, un subproducto de la destilación destructiva del carbón, contiene una mezcla rica en hidrocarburos aromáticos.

#### 3.10.2. Métodos de síntesis

##### 3.10.2.1. Síntesis a partir de alquenos

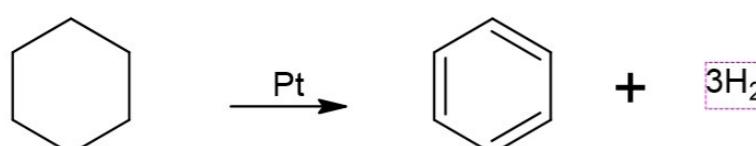
Uno de los métodos más comunes para sintetizar compuestos aromáticos es a través de la ciclización de alquenos. La reacción de Diels-Alder es una reacción pericíclica que forma anillos aromáticos al combinar un dieno conjugado con un dienófilo. Esta reacción es útil para la síntesis de hidrocarburos aromáticos policíclicos.





### 3.10.2.2. Deshidrogenación de cicloalcanos

La deshidrogenación de cicloalcanos es otro método importante para obtener compuestos aromáticos. En presencia de catalizadores como el platino, el ciclohexano puede convertirse en benceno mediante la eliminación de hidrógeno.



### 3.10.3. Derivación de otros hidrocarburos

La conversión de hidrocarburos no aromáticos en aromáticos es un proceso industrial importante. El reformado catalítico es un proceso que convierte naftenos y parafinas en compuestos aromáticos mediante la reestructuración de moléculas en presencia de un catalizador de platino y condiciones de alta temperatura.

## 3.11. Reacciones de hidrocarburos aromáticos

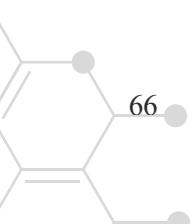
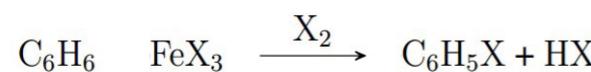
Los hidrocarburos aromáticos, como el benceno y sus derivados, son conocidos por su estabilidad química debido a la deslocalización de los electrones  $\pi$  en el anillo aromático. Sin embargo, pueden participar en diversas reacciones químicas, especialmente en reacciones de sustitución electrofílica aromática (SEAr), reacciones de adición y reacciones de oxidación. A continuación, se presentan algunas de las reacciones más importantes de los hidrocarburos aromáticos.

### 3.11.1. Sustitución electrofílica aromática (SEAr)

Las reacciones de sustitución electrofílica aromática son las más comunes en los hidrocarburos aromáticos. En estas reacciones, un electrófilo reemplaza a un átomo de hidrógeno en el anillo aromático. Las principales reacciones de SEAr incluyen la halogenación, nitración, sulfonación, alquilación de Friedel-Crafts y acilación de Friedel-Crafts.

#### 3.11.1.1. Halogenación

En la halogenación, un átomo de halógeno (X) se introduce en el anillo aromático en presencia de un catalizador ácido de Lewis, como  $\text{FeX}_3$ .



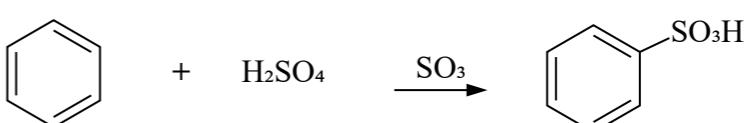
#### 3.11.1.2. Nitración

La nitración implica la introducción de un grupo nitrilo ( $\text{NO}_2$ ) en el anillo aromático mediante la reacción con una mezcla de ácido nítrico y ácido sulfúrico.



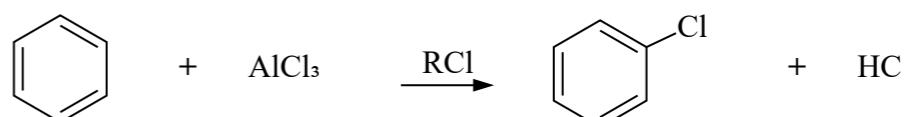
#### 3.11.1.3. Sulfonación

La sulfonación introduce un grupo sulfonato ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ) en el anillo aromático utilizando ácido sulfúrico concentrado o trióxido de azufre.



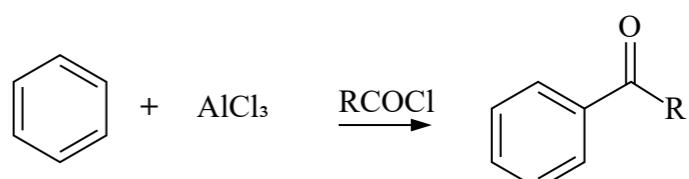
#### 3.11.1.4. Alquilación de Friedel-Crafts

La alquilación de Friedel-Crafts introduce un grupo alquilo (R) en el anillo aromático utilizando un haluro de alquilo y un ácido de Lewis como catalizador.



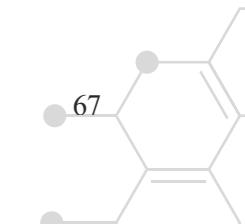
#### 3.11.1.5. Acilación de Friedel-Crafts

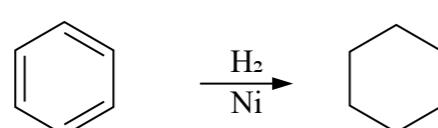
La acilación de Friedel-Crafts introduce un grupo acilo (RCO) en el anillo aromático mediante la reacción con un cloruro de acilo en presencia de un catalizador ácido de Lewis.



### 3.11.2. Reacciones de adición

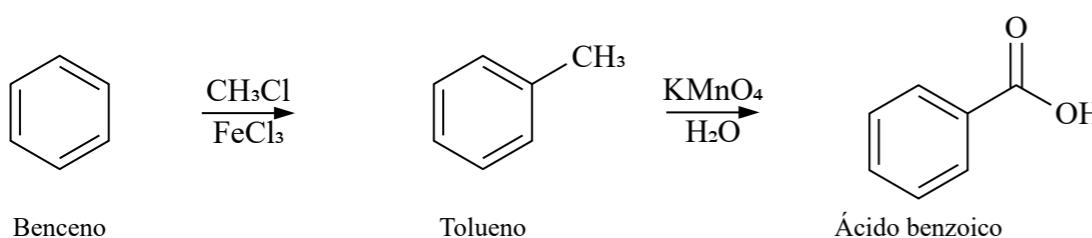
A diferencia de las reacciones de sustitución, las reacciones de adición en hidrocarburos aromáticos son menos comunes debido a la estabilidad del anillo aromático. Sin embargo, en condiciones drásticas, como la hidrogenación, es posible romper el anillo aromático para formar compuestos saturados.





### 3.11.3. Reacciones de oxidación

Los hidrocarburos aromáticos pueden oxidarse para formar diferentes productos. Por ejemplo, el benceno puede oxidarse a ácido benzoico en presencia de un agente oxidante fuerte como el permanganato de potasio.



Estas reacciones son fundamentales para la transformación de hidrocarburos aromáticos en compuestos más funcionales y útiles en la síntesis orgánica y en diversas aplicaciones industriales.

### 3.12. Compuestos aromáticos en medicina veterinaria: el rol del timol y carvacrol

Los compuestos aromáticos timol (2-isopropil-5-metilfenol) y el carvacrol (5-isopropil-2-metilfenol) (Figura 3.6), derivados del tomillo y orégano respectivamente, han emergido como alternativas prometedoras a los antibióticos convencionales en la producción animal (17). Estos compuestos fenólicos han demostrado una notable actividad antimicrobiana contra patógenos relevantes en veterinaria, incluyendo *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium* y *Clostridium perfringens*, actuando mediante la desestabilización de la membrana celular bacteriana y la alteración de los gradientes iónicos celulares, lo que resulta en la muerte del microorganismo sin generar resistencia antimicrobiana.

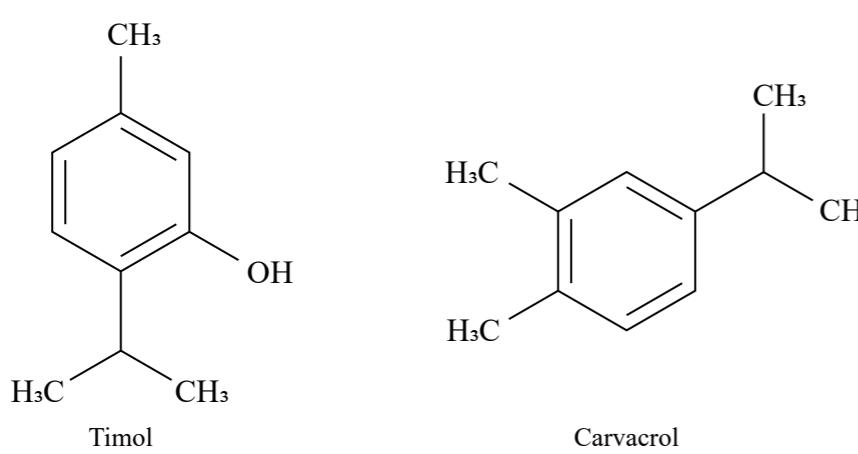


Figura 3.6 Estructuras químicas del timol y del carvacrol

Las investigaciones de Zeng et al. (2015), publicadas en “*Poultry Science*” (18), han documentado que la suplementación con estos compuestos aromáticos en dosis de 15-150 mg/kg en la alimentación de pollos de engorde mejora significativamente los parámetros productivos y la salud intestinal. Los autores reportaron mejoras en la ganancia diaria de peso, reducción en la conversión alimenticia y disminución en la mortalidad asociada a enteritis necrótica. Además, estos compuestos han demostrado efectos inmunomoduladores, aumentando la expresión de citoquinas antiinflamatorias y mejorando la integridad de la barrera intestinal, lo que resulta en una mejor salud general del animal y una reducción significativa en el uso de antibióticos convencionales.

La importancia de estos hallazgos se magnifica en el contexto actual de la resistencia antimicrobiana global (19). Los autores destacan que el uso de compuestos aromáticos como el timol y carvacrol representa una solución sostenible y económicamente viable para la industria pecuaria. Los análisis económicos revelan beneficios significativos en la producción avícola intensiva, considerando el costo del suplemento aromático versus la reducción en medicamentos y la mejora en parámetros productivos, además de proporcionar una ventaja competitiva en mercados que demandan productos libres de antibióticos.

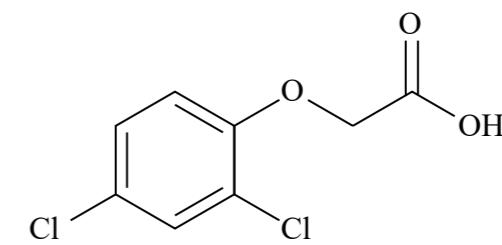
### 3.13. Aplicación de los compuestos aromáticos en la agroindustria y en las ciencias pecuarias

Los compuestos aromáticos tienen amplias aplicaciones en la industria química, farmacéutica, y agropecuaria. Se utilizan en la fabricación de plásticos, colorantes, medicamentos y pesticidas, destacando su importancia en el desarrollo de productos químicos avanzados y de alto valor añadido.

### 3.13.1. Agroindustria

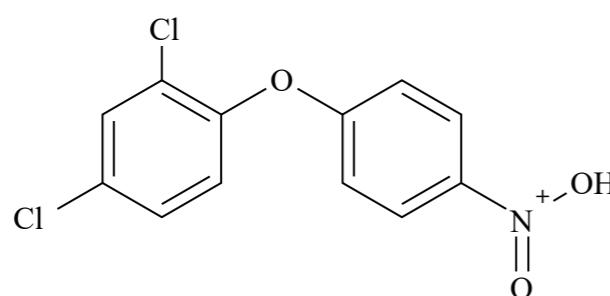
### 3.13.1.1. Pesticidas y herbicidas

- **2,4-Diclorofenoxyacético (2,4-D):**



Un herbicida ampliamente utilizado en la agricultura para controlar malezas de hoja ancha. Este compuesto aromático es eficaz en pequeñas concentraciones y tiene una acción rápida sobre las plantas no deseadas.

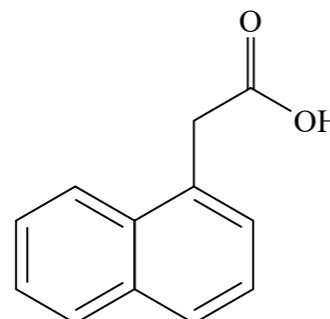
- **(Nitrofen):**



Utilizado como herbicida para el control de malezas en cultivos de arroz y otros cereales.

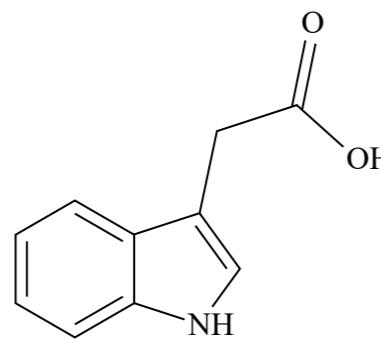
### 3.13.1.2. Reguladores de crecimiento

- **Ácido naftalenacético (NAA):**



Utilizado como regulador de crecimiento para promover el enraizamiento de esquejes y mejorar el cuajado de frutos.

- **(Ácido Indolacético):**

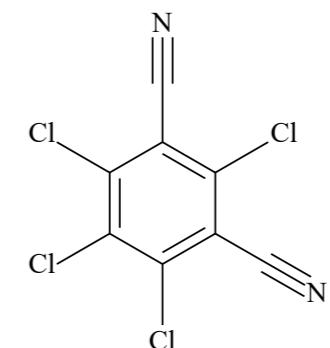


Una fitohormona (auxina) sintética que estimula el crecimiento de las plantas y se utiliza en la propagación vegetativa.

### 3.13.1.3. Fungicidas

- **Clorotalonil:**

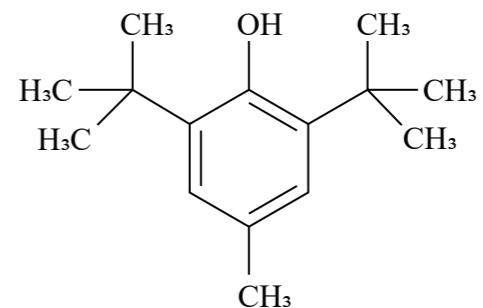
Utilizado para proteger los cultivos contra hongos patógenos que afectan la calidad y el rendimiento de las cosechas.



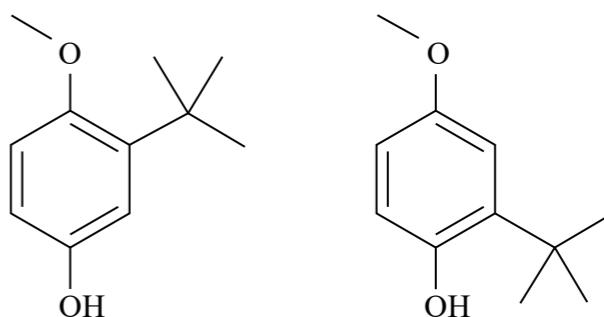
### 3.13.2. Ciencias pecuarias

#### 3.13.2.1. Aditivos alimentarios

- **BHT (Butilhidroxitolueno):** Utilizado como antioxidante en alimentos para animales para prevenir la oxidación de grasas y aceites, mejorando la calidad y la vida útil de los productos alimenticios.

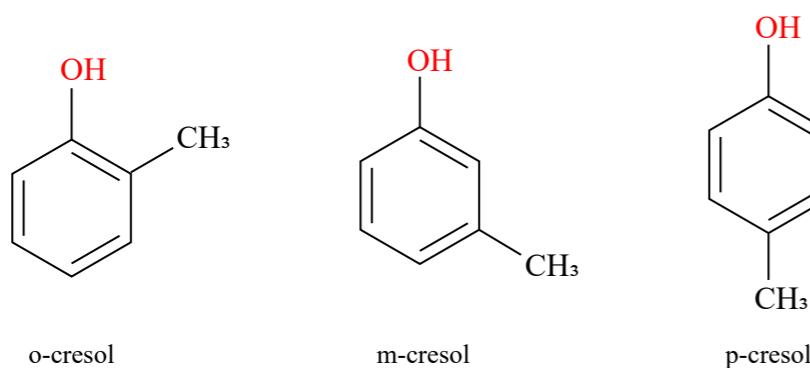


- **BHA (Butilhidroxianisol):** Otro antioxidante comúnmente añadido a los alimentos para animales para preservar su frescura y valor nutricional.



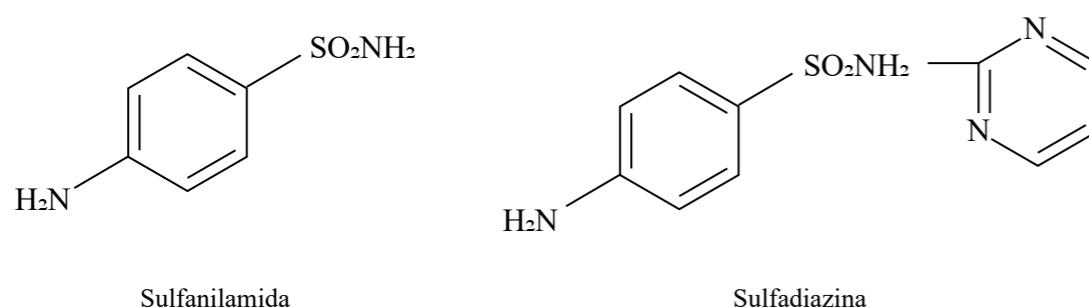
## 3.13.2.2. Desinfectantes y antisépticos

- **Cresoles:** Utilizados en soluciones desinfectantes para limpiar y desinfectar instalaciones pecuarias, reduciendo el riesgo de enfermedades infecciosas en el ganado.

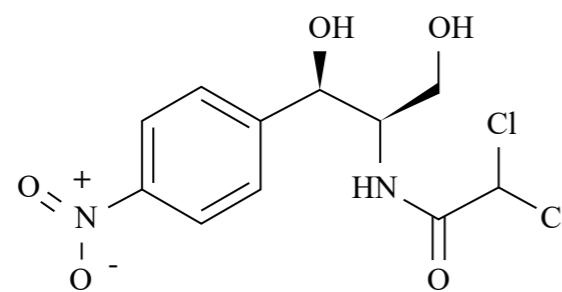


## 3.13.3. Medicamentos veterinarios

- **Sulfonamidas:** Una clase de antibióticos aromáticos utilizados para tratar infecciones bacterianas en animales de granja.



- **Cloranfenicol:** Utilizado en el tratamiento de enfermedades infecciosas en el ganado, incluyendo infecciones respiratorias y digestivas.



Aunque los hidrocarburos aromáticos tienen múltiples aplicaciones industriales, muchos de ellos son carcinógenos y representan riesgos significativos para la salud humana y el medio ambiente si no se manejan adecuadamente. Es crucial implementar prácticas seguras en su manipulación y disposición.

## CAPÍTULO IV

## 4 Compuestos oxigenados

## 4.1 Introducción

Los compuestos orgánicos oxigenados son una clase importante de compuestos en química orgánica, caracterizados por la presencia de uno o más átomos de oxígeno en su estructura molecular. En esta categoría se encuentran una variedad de funciones químicas como grupos funcionales, incluyendo alcoholes, éteres, aldehidos y cetonas. Cada una presenta grupos funcionales que posee uno de estos grupos posee propiedades químicas y físicas únicas, determinadas en gran medida por la presencia del oxígeno, un elemento muy electronegativo, el mismo qué es el responsable de las principales propiedades físicas y químicas de este tipo de compuestos orgánicos.

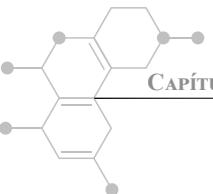


Figura. 4.1 Clasificación de compuestos oxigenados.

## 4.2 Grupos funcionales, funciones químicas oxigenadas

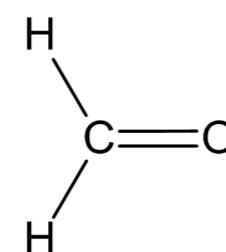
Dentro de los compuestos de oxigenados encontramos los siguientes grupos funcionales:

- **Alcoholes:** Compuestos en los que un grupo hidroxilo (-OH) está unido a un átomo de carbono saturado. Ejemplo: metanol ( $\text{CH}_3\text{-OH}$ ).



Los alcoholes son compuestos orgánicos caracterizados por la presencia de un grupo funcional hidroxilo ( $-\text{OH}$ ), el cual puede unirse a átomos de carbono de diferentes tipos, lo que afecta tanto sus propiedades químicas como su reactividad. En los alcoholes, el hidroxilo puede unirse a carbonos primarios, secundarios o terciarios. Esta clasificación depende de la posición del carbono al que está unido el grupo ( $-\text{OH}$ ): en un carbono primario, el hidroxilo está unido a un carbono con solo un grupo alquilo, mientras que, en un carbono secundario, el carbono tiene dos sustituyentes alquilo, y en un carbono terciario, tres. La estructura y tipo de carbono influyen en la estabilidad y reactividad del alcohol; los alcoholes terciarios, por ejemplo, suelen ser más estables frente a oxidación en comparación con los alcoholes primarios.

- **Éteres:** Los éteres son compuestos orgánicos en los que un átomo de oxígeno conecta dos grupos alquilo o arilo mediante enlaces simples. Esta estructura les confiere a los éteres una relativa estabilidad química, y su fórmula general es  $(\text{R}-\text{O}-\text{R}')$ , donde  $(\text{R})$  y  $(\text{R}')$  pueden ser grupos alquilo o arilo idéntico o diferentes. Un ejemplo común es el dimetil éter ( $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ), en el cual el oxígeno está unido a dos grupos metilo. Ejemplo: dimetil éter ( $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$ ).
- **Aldehídos:** Los aldehídos son compuestos orgánicos caracterizados por la presencia de un grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) unido a un átomo de hidrógeno y a un grupo alquilo o arilo. Esta estructura, representada como  $(\text{R}-\text{CHO})$ , donde  $\text{R}$  es un grupo alquilo o arilo, confiere a los aldehídos una reactividad específica que la diferencia de otras familias de compuestos carbonílicos, como las cetonas. Un ejemplo común es el formaldehído ( $\text{H}-\text{CHO}$ ), donde el grupo carbonilo está unido a un hidrógeno y no a un grupo alquilo. Ejemplo: metanal



- **Cetonas:** Las cetonas son compuestos orgánicos que contienen un grupo carbonilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) unido a dos átomos de carbono, generalmente en el centro de una cadena carbonada. Esta estructura se representa como  $(\text{R}-\text{CO}-\text{R}')$ , donde  $\text{R}$  y  $\text{R}'$  son grupos alquilo o arilo, que pueden ser iguales o diferentes. La presencia del grupo carbonilo en una posición interna de la molécula les otorga propiedades químicas particulares y las distingue de los aldehídos, donde el carbonilo se encuentra en un extremo de la cadena. Un ejemplo común de cetona es la propanona ( $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$ ), también conocida como acetona.

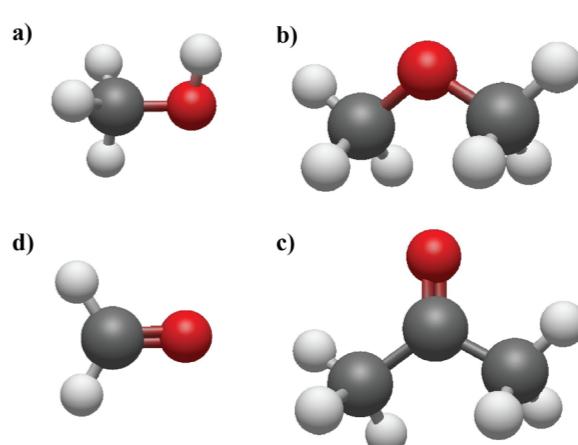
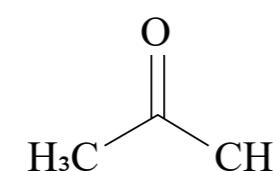


Figura. 4.2 Estructuras químicas de a) metanol, b) dimetil éter, c) etanol, d) propanona.

## 4.3. Alcoholes

### 4.3.1. Nomenclatura

Los alcoholes son compuestos orgánicos que contienen uno o más grupos hidroxilo ( $-\text{OH}$ ) unidos a un átomo de carbono saturado. La nomenclatura de los alcoholes sigue las reglas establecidas por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), que proporciona un esquema sistemático y uniforme para nombrar compuestos orgánicos.

#### 4.3.1.1. Reglas básicas de nomenclatura IUPAC para alcoholes

1. **Identificación de la cadena principal:** Selecciona la cadena de carbonos más larga que contiene el grupo hidroxilo. Esta cadena determina el nombre base del alcohol.
2. **Numeración de la cadena:** Numera los átomos de carbono en la cadena principal comenzando por el extremo más cercano al grupo hidroxilo. Esto asegura que el grupo hidroxilo reciba el número más bajo posible.
3. **Identificación de sustituyentes:** Cualquier otro grupo funcional o sustituyente se nombra y se numera de acuerdo con su posición en la cadena principal.
4. **Nombrar el grupo hidroxilo:** El grupo hidroxilo se indica con el sufijo “-ol”. Si hay más de un grupo hidroxilo, se utilizan prefijos como “di-”, “tri-”, etc., y se indican los números de posición de cada grupo hidroxilo.
5. **Asignación de localizadores y prefijos:** Los localizadores numéricos y los prefijos (como “metil-”, “etil-”, etc.) se utilizan para describir la posición y el tipo de cualquier sustituyente en la cadena principal.

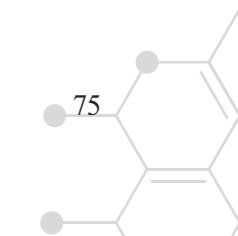
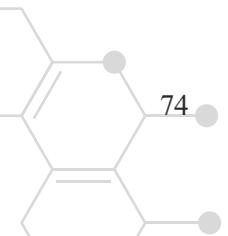


Tabla. 4.1 Ejemplos de nomenclatura de alcoholes.

IUPAC	Común	Fórmula semidesarrollada
2-metilpentan-1-ol	2-metil-1-pentanol	
Etanol	Alcohol Etílico	
2-propanol	Isopropanol (Alcohol Isopropílico)	
Propano-1,2,3-triol	Glicerol (Glicerina)	
Metanol	Alcohol Metílico	$\text{CH}_3\text{-OH}$
Etilenglicol	-	$\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$
Propan-1-ol	Alcohol Propílico	$\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
Butan-1-ol	Alcohol Butilíco	$\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
Butan-2-ol	Alcohol Sec-Butilíco	$\text{CH}_3\text{-}(\text{CH-OH})\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
2-Metilpropan-2-ol	Alcohol Terbutílico	
Fenilmetanol	Alcohol Bencílico	

Los alcoholes cíclicos se nombran utilizando el prefijo ciclo-; se asume que el grupo hidroxilo está en el C1. Se cita algunos ejemplos (Figura 4.3):

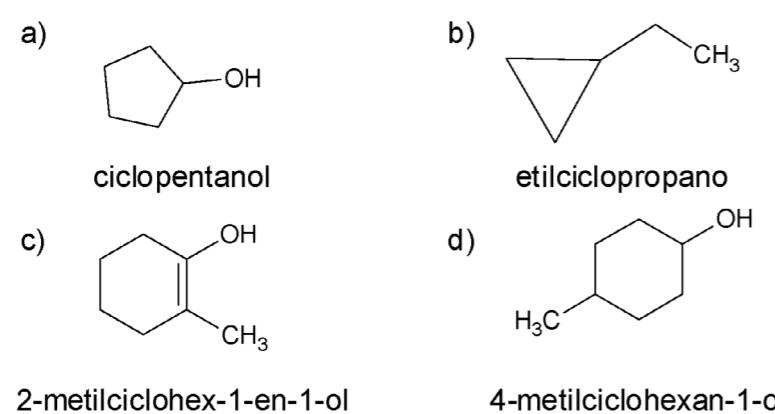


Figura 4.3 Ejemplos de alcoholes cíclicos.

Los compuestos que presentan un grupo hidroxilo unido directamente a un anillo aromático, específicamente al benceno, se denominan fenoles. (Figura 4.4.). Estos compuestos comparten varias propiedades con los alcoholes, aunque también poseen características únicas derivadas de su estructura aromática. En este capítulo, exploraremos las propiedades de los fenoles que son similares a las de los alcoholes.

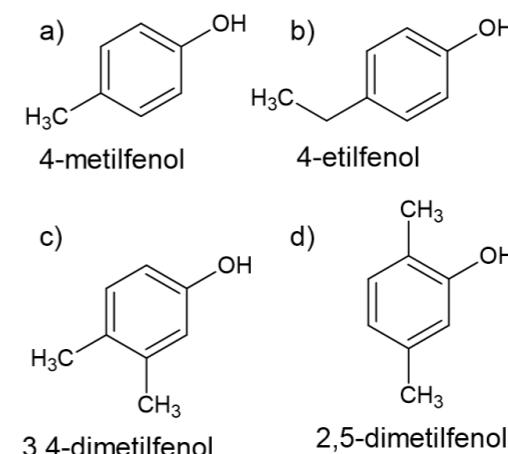


Figura 4.4 Ejemplos de alcoholes aromáticos.

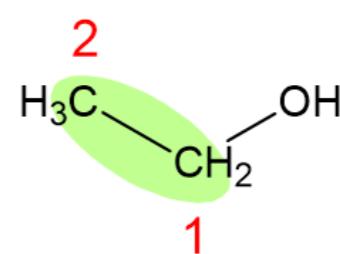
#### 4.4. Clasificación

Los alcoholes son compuestos orgánicos que contienen uno o más grupos hidroxilo (-OH) unidos a un átomo de carbono saturado. Según la clasificación basada en la posición del carbono al que está unido el grupo hidroxilo, los alcoholes se dividen en primarios, secundarios y terciarios. Esta clasificación es fundamental para entender la reactividad y las propiedades físicas de los alcoholes.

##### 4.4.1. Alcoholes primarios

**Estructura:** En un alcohol primario, el grupo hidroxilo está unido a un carbono primario, que a su vez está conectado a un máximo de un átomo de carbono adicional.

**Ejemplo:** El etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) es un alcohol primario, donde el grupo hidroxilo está unido a un carbono que solo se conecta a otro carbono.

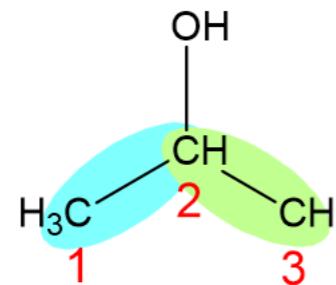


**Propiedades:** Los alcoholes primarios tienden a ser más reactivos en reacciones de oxidación, convirtiéndose fácilmente en aldehídos y luego en ácidos carboxílicos bajo condiciones de oxidación.

#### 4.4.2. Alcoholes secundarios

**Estructura:** En los alcoholes secundarios, el grupo hidroxilo está unido a un carbono secundario, que está conectado a dos otros átomos de carbono.

**Ejemplo:** El isopropanol ( $C_3H_8O$ ) es un alcohol secundario, donde el carbono del grupo hidroxilo está conectado a dos átomos de carbono adicionales.

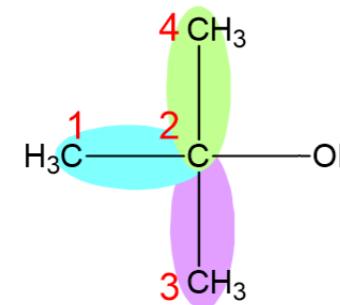


**Propiedades:** Los alcoholes secundarios son menos reactivos que los primarios frente a la oxidación. Se oxidan para formar cetonas, pero no se oxidan más allá de ese punto bajo condiciones suaves.

#### 4.4.3. Alcoholes terciarios

**Estructura:** En un alcohol terciario, el grupo hidroxilo está unido a un carbono terciario, que está conectado a tres otros átomos de carbono.

**Ejemplo:** El terc-butanol es un alcohol terciario, con el grupo hidroxilo unido a un carbono que está conectado a tres grupos metilo.



**Propiedades:** Los alcoholes terciarios son los menos reactivos en términos de oxidación. No se oxidan fácilmente a compuestos carbonílicos debido a la falta de un hidrógeno en el carbono al que está unido el grupo, lo que hace difícil la eliminación de hidrógeno durante la oxidación.

La estructura de los alcoholes primarios, secundarios y terciarios determina sus propiedades físicas y químicas, así como su reactividad en diversas reacciones químicas. Esta clasificación es fundamental para el estudio y la aplicación de los alcoholes en la química orgánica.

#### 4.4.4. Propiedades fisicoquímicas de los alcoholes

Los alcoholes presentan una serie de propiedades fisicoquímicas que se derivan de la presencia del grupo hidroxilo (-OH). Estas propiedades incluyen la polaridad, la capacidad de formar enlaces de hidrógeno, los puntos de ebullición y fusión, la solubilidad y la densidad. A continuación, se describen en detalle estas propiedades:

##### 4.4.4.1. Polaridad y enlaces de hidrógeno

Los alcoholes son moléculas polares debido a la presencia del grupo hidroxilo, que contiene un átomo de oxígeno altamente electronegativo. Esta polaridad permite que los alcoholes forman enlaces de hidrógeno tanto entre sí como con moléculas de agua. (Figura 4.5) se representa el puente de hidrógeno en el etanol

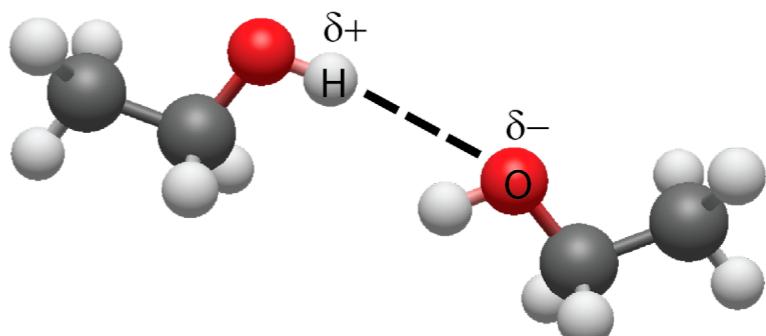
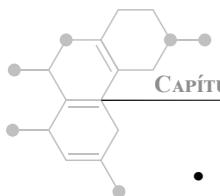


Figura 4.5 Formación de un puente de hidrógeno entre dos moléculas de etanol.

Los alcoholes exhiben una notable polaridad debido a la diferencia de electronegatividad entre el oxígeno (3.44 en la escala de Pauling) y el hidrógeno (2.20), lo que genera un dipolo permanente en el enlace (O-H). Esta característica estructural fundamental permite la formación de enlaces de hidrógeno intermoleculares fuertes, donde el hidrógeno parcialmente positivo del grupo hidroxilo de una molécula interactúa con el par de electrones no compartidos del oxígeno de otra molécula. Esta red de enlaces de hidrógeno influye significativamente en las propiedades fisicoquímicas de los alcoholes, manifestándose en puntos de ebullición elevados en comparación con moléculas de masa molecular similar y en una mayor solubilidad en solventes polares, particularmente en agua.

#### 4.4.5. Puntos de ebullición y fusión

Los puntos de ebullición y fusión de los alcoholes son generalmente más altos que los de los hidrocarburos de similar masa molecular. Esto se debe a la capacidad de los alcoholes para formar enlaces de hidrógeno intermoleculares.



- Puntos de ebullición:** Los alcoholes tienen puntos de ebullición más altos debido a los enlaces de hidrógeno que deben romperse para que las moléculas pasen de la fase líquida a la gaseosa. Por ejemplo, el punto de ebullición del etanol ( $C_2H_5OH$ ) es de  $78.37^{\circ}C$ .
- Puntos de fusión:** Similar a los puntos de ebullición, los puntos de fusión de los alcoholes también son elevados en comparación con los hidrocarburos. El punto de fusión del etanol es de  $-114.1^{\circ}C$ .

#### 4.4.6. Solubilidad

La solubilidad de los alcoholes en agua disminuye a medida que aumenta la longitud de la cadena carbonada. Los alcoholes con cadenas cortas son completamente miscibles con agua debido a su capacidad para formar enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua.

- Alcoholes de cadena corta:** Los alcoholes como el metanol ( $CH_3OH$ ) y el etanol son altamente solubles en agua.
- Alcoholes de cadena larga:** A medida que la cadena carbonada se alarga, la solubilidad en agua disminuye. Los alcoholes con más de seis átomos de carbono son prácticamente insolubles en agua.

#### 4.4.7. Densidad

La densidad de los alcoholes varía según la longitud de la cadena carbonada y la presencia de ramificaciones. Generalmente, los alcoholes son menos densos que el agua.

- Densidad del metanol:** Aproximadamente  $0.7918 \text{ g/mL}$  a  $20^{\circ}C$ .
- Densidad del etanol:** Aproximadamente  $0.789 \text{ g/mL}$  a  $20^{\circ}C$ .

#### 4.4.8. Viscosidad

Los alcoholes tienen viscosidades moderadas que aumentan con la longitud de la cadena y el número de grupos hidroxilo presentes. La viscosidad se debe a la formación de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de alcohol.

#### 4.4.9. Propiedades ópticas

Algunos alcoholes, especialmente aquellos con varios grupos hidroxilo y estructuras complejas, pueden tener propiedades ópticas, como la rotación del plano de luz polarizada. Esto es particularmente relevante en los alcoholes utilizados en la síntesis de productos farmacéuticos y otros compuestos bioactivos.

#### 4.4.10. Reactividad química

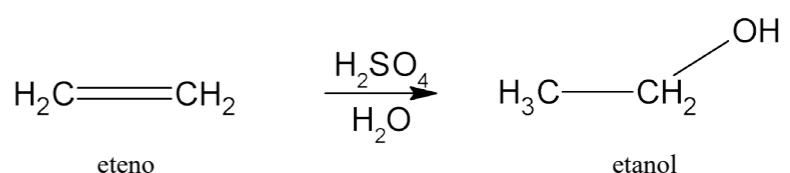
La reactividad de los alcoholes está influenciada por el grupo y la naturaleza del carbono al que está unido. Los alcoholes pueden participar en una variedad de reacciones químicas, incluyendo la deshidratación, la oxidación y la esterificación, estas reacciones y otras más se revisarán en los apartados a continuación.

#### 4.4.11. Reacciones de obtención de alcoholes

Los alcoholes se pueden obtener mediante una variedad de métodos químicos, cada uno adecuado para diferentes contextos y tipos de alcoholes. A continuación, se presentan algunas de las principales reacciones utilizadas para la síntesis de alcoholes.

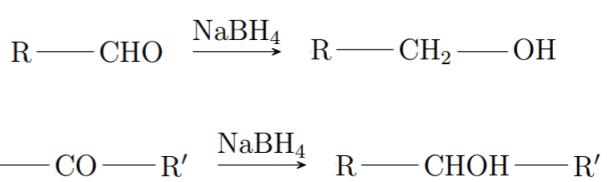
##### 4.4.11.1. Hidratación de alquenos

La hidratación de alquenos es una de las reacciones más directas para obtener alcoholes. En presencia de un ácido fuerte, como el ácido sulfúrico, un alqueno reacciona con agua para formar un alcohol. La reacción sigue la regla de Markovnikov, donde el grupo ( $-OH$ ) se adiciona al carbono más sustituido (menos hidrógenos) del doble enlace.



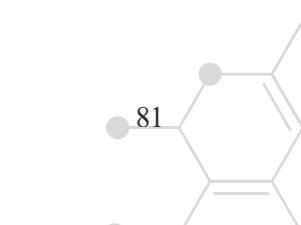
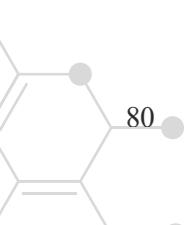
##### 4.4.11.2. Reducción de compuestos carbonílicos

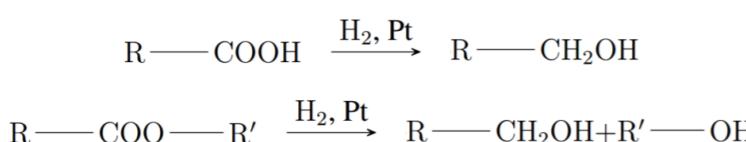
Los alcoholes también se pueden obtener mediante la reducción de aldehídos y cetonas. Esta reacción se lleva a cabo utilizando agentes reductores como el borohidruro de sodio o el hidruro de litio y aluminio.



##### 4.4.11.3. Hidrogenación de ácidos carboxílicos y ésteres

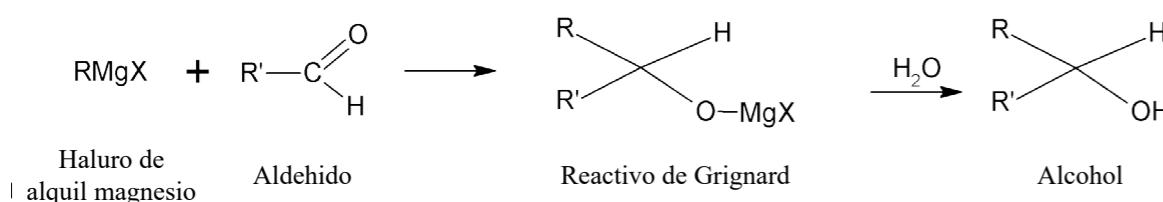
Los ácidos carboxílicos y ésteres pueden reducirse a alcoholes mediante hidrogenación catalítica. Este proceso generalmente requiere un catalizador de metal noble, como el platino, el paladio o el níquel, y una fuente de hidrógeno molecular ( $H_2$ ).





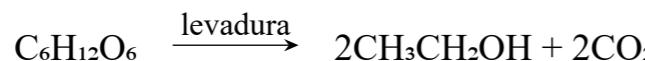
#### 4.4.11.4. Reacciones de Grignard

Las reacciones de Grignard son otro método importante para la obtención de alcoholes. Un reactivo de Grignard, que es un compuesto organomagnesio, reacciona con un compuesto carbonílico para formar un alcohol tras la adición de agua.



#### 4.4.12. Fermentación de azúcares

La fermentación de azúcares es un proceso biológico que se utiliza para la producción de etanol. Las levaduras metabolizan los azúcares, como la glucosa, para producir etanol y dióxido de carbono.



Estas reacciones son fundamentales para la síntesis de alcoholes en la química orgánica, y su comprensión es esencial para la aplicación práctica en la industria pecuaria y la investigación científica. Los métodos para la obtención de alcoholes son variados, desde métodos clásicos como la reducción de aldehídos y cetonas, hasta procesos biológicos como la fermentación. En el ámbito pecuario, los alcoholes tienen aplicaciones en la formulación de desinfectantes, conservantes de alimentos y en la elaboración de medicamentos veterinarios, mejorando así la salud y el bienestar animal. La capacidad de producir y manipular estos compuestos permite optimizar diversos aspectos de la producción animal, contribuyendo a prácticas más sostenibles y eficientes.

### 4.5. Reacciones de alcoholes

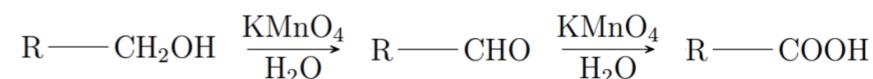
Los alcoholes son compuestos versátiles en la química orgánica y pueden participar en una amplia variedad de reacciones químicas debido a la presencia del grupo hidroxilo (-OH). A continuación, se describen algunas de las reacciones más importantes de los alcoholes:

#### 4.5.1. Oxidación de alcoholes

La oxidación de alcoholes conduce a la formación de diferentes productos dependiendo del tipo de alcohol y de las condiciones de la reacción.

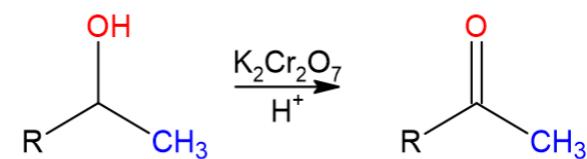
##### 4.5.1.1. Oxidación de alcoholes primarios

Los alcoholes primarios (-CH<sub>2</sub>OH) pueden oxidarse primero a aldehídos (-CHO) y luego a ácidos carboxílicos (-COOH) con agentes oxidantes fuertes como el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) o el dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).



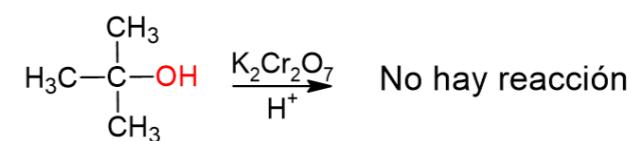
##### 4.5.1.2. Oxidación de alcoholes secundarios

Los alcoholes secundarios (-R<sub>2</sub>CHOH) se oxidan a cetonas (-COC-) utilizando los mismos agentes oxidantes.



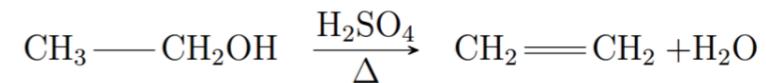
##### 4.5.1.3. Oxidación de alcoholes terciarios

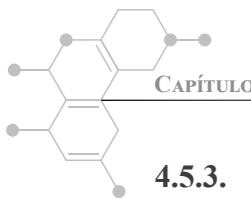
Los alcoholes terciarios son generalmente resistentes a la oxidación debido a la falta de hidrógenos alfa.



#### 4.5.2. Deshidratación

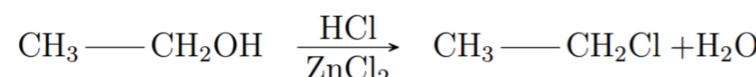
Los alcoholes pueden deshidratarse en presencia de ácidos fuertes como el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) para formar alquenos.





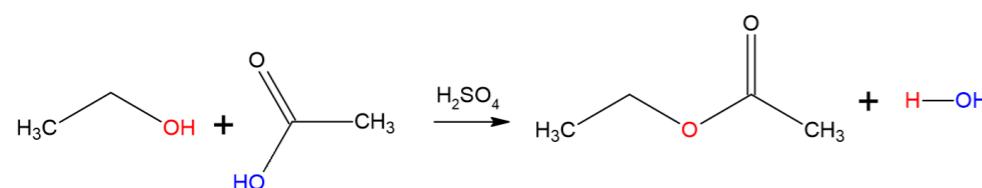
### 4.5.3. Reacción de sustitución

Los alcoholes pueden participar en reacciones de sustitución, donde el grupo hidroxilo es reemplazado por otro grupo, como un halógeno. Esta reacción puede llevarse a cabo en presencia de haluros de fósforo ( $\text{PCl}_3$ ,  $\text{PCl}$ ) o ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) en presencia de cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ).



### 4.5.4. Esterificación

Los alcoholes pueden reaccionar con ácidos carboxílicos para formar ésteres en una reacción conocida como esterificación. Esta reacción se cataliza generalmente por ácidos fuertes como el ácido sulfúrico.



### 4.5.5. Reacciones con metales activos

Los alcoholes pueden reaccionar con metales activos como el sodio ( $\text{Na}$ ) para formar alcóxidos y liberar hidrógeno.



Estas reacciones ilustran la versatilidad de los alcoholes y su importancia en la química orgánica, tanto en el laboratorio como en aplicaciones industriales y científicas, incluidas las ciencias pecuarias, donde se utilizan para producir medicamentos, desinfectantes y aditivos alimentarios.

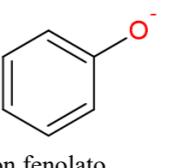
## 4.6. Fenoles

Los fenoles son compuestos aromáticos que contienen uno o más grupos hidroxilo ( $-\text{OH}$ ) directamente unidos a un anillo bencénico. Estos compuestos son cruciales en la química orgánica debido a su amplia gama de aplicaciones en la industria y en la investigación científica. Los fenoles poseen propiedades únicas que los diferencian de los alcoholes y otros compuestos oxigenados.

### 4.6.1. Propiedades fisicoquímicas de los fenoles

Los fenoles presentan características distintivas debido a la presencia del grupo hidroxilo unido al anillo aromático. Estas propiedades incluyen:

- **Acidez:** Los fenoles son más ácidos que los alcoholes debido a la capacidad del anillo bencénico para estabilizar el ion fenolato mediante resonancia. Esta acidez facilita su participación en diversas reacciones químicas.

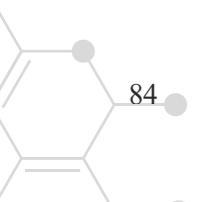
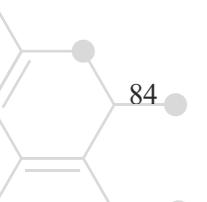


- **Solubilidad:** Los fenoles son solubles en agua y en solventes orgánicos debido a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. La solubilidad disminuye con el aumento del número de grupos alquilo en el anillo aromático.
- **Punto de fusión y ebullición:** Los fenoles tienen puntos de fusión y ebullición relativamente altos en comparación con los alcoholes de peso molecular similar, debido a la formación de puentes de hidrógeno intermoleculares.
- **Reactividad:** Los fenoles pueden participar en una variedad de reacciones, incluyendo la nitración, sulfonación y halogenación, gracias a la activación del anillo aromático por el grupo hidroxilo.

## 4.7. Hidroxifenoles

Los hidroxifenoles son una subclase de fenoles que contienen más de un grupo hidroxilo unido al anillo bencénico (Figura 4.6). Los ejemplos más comunes incluyen el catecol, el resorcinol y la hidroquinona, cada uno de los cuales posee diferentes posiciones de los grupos hidroxilo en el anillo aromático, lo que influye en sus propiedades y aplicaciones.

- **Catecol:** También conocido como 1,2-dihidroxibenceno, el catecol se utiliza en la síntesis de productos farmacéuticos y como antioxidante en la industria alimentaria (Figura 4.6 a).
- **Resorcinol:** El resorcinol, o 1,3-dihidroxibenceno, se emplea en la fabricación de resinas adhesivas, productos farmacéuticos y como intermedio en la síntesis de colorantes (Figura 4.6 b).
- **Hidroquinona:** Conocida como 1,4-dihidroxibenceno, la hidroquinona se usa ampliamente en la industria fotográfica como revelador y en cosmética como agente despigmentante (Figura 4.6 c).



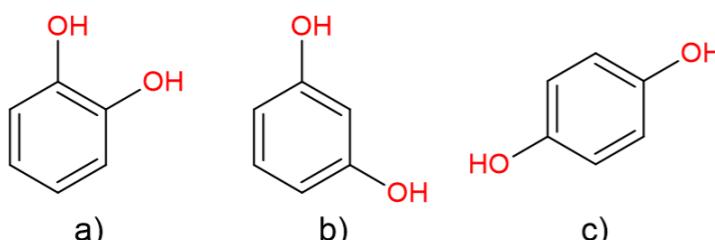
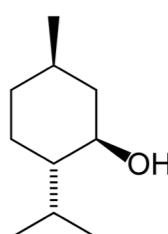


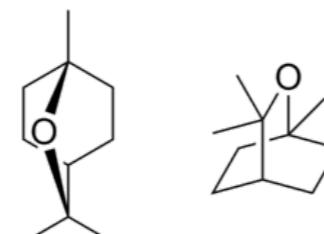
Figura 4.6 Hidroxifenoles. a) catecol. b) resorcinol. c) hidroquinona.

#### 4.7.1. Alcoholes terpénicos en medicina veterinaria y producción animal

Los alcoholes terpénicos, especialmente el mentol ( $C_{10}H_{20}O$ ) y el eucaliptol (1,8-cineol,  $C_{10}H_{18}O$ ), han emergido como compuestos oxigenados de crucial importancia en medicina veterinaria y producción animal, según las investigaciones publicadas por Stevanović et al. (2023) en *“Veterinary Research”* (20). Estos compuestos, presentes naturalmente en aceites esenciales de menta y eucalipto, han demostrado propiedades antiinflamatorias, antimicrobianas y expectorantes significativas, con una eficacia particular en el tratamiento de enfermedades respiratorias en ganado bovino y porcino. Los estudios clínicos han revelado que la administración por nebulización de soluciones conteniendo 2-5% de estos alcoholes terpénicos reduce la severidad de los síntomas respiratorios en un 67% y disminuye el tiempo de recuperación en un 45% comparado con los tratamientos convencionales.



Mentol



Eucaliptol

Las investigaciones realizadas por Chen y colaboradores (2022), publicadas en *“Animal Feed Science and Technology”* (21), han documentado que la suplementación del alimento con una mezcla estandarizada de alcoholes terpénicos (0.015-0.030% de la dieta total) mejora significativamente los parámetros productivos en aves de corral. Los resultados muestran un incremento del 12% en la ganancia diaria de peso, una mejora del 8% en la eficiencia alimenticia y una reducción del 35% en la incidencia de trastornos digestivos. El análisis molecular reveló que estos compuestos modulan la expresión de genes relacionados con la inmunidad intestinal y aumentan la producción de mucinas protectoras, contribuyendo a una mejor salud intestinal y mayor resistencia a patógenos.

Thompson et al. (2024), en su libro *“Natural Solutions in Animal Health”* (22), presentan un análisis económico exhaustivo que demuestra que el uso de alcoholes terpénicos en la producción animal representa una inversión altamente rentable, con un retorno de inversión promedio de 3.2:1. Este beneficio se deriva no solo de la mejora en los parámetros productivos, sino también de la reducción en el uso de antibióticos (disminución del 42%), menor mortalidad (reducción del 28%), y el valor agregado que estos productos naturales aportan

al mercado final, especialmente en sistemas de producción orgánica o libre de antibióticos. Además, estos compuestos han demostrado una notable estabilidad durante el almacenamiento y procesamiento del alimento, manteniendo su actividad biológica durante períodos prolongados.

#### 4.7.2. Aplicaciones de los fenoles y los hidroxifenoles

Los fenoles y los hidroxifenoles tienen aplicaciones significativas en diversas industrias debido a sus propiedades químicas únicas.

- **Industria farmacéutica:** Los fenoles son utilizados en la síntesis de numerosos fármacos debido a su actividad antimicrobiana y antioxidante. Los hidroxifenoles como el catecol y el resorcinol son componentes cruciales en la producción de medicamentos.
- **Industria cosmética:** La hidroquinona se utiliza como agente blanqueador en productos cosméticos para reducir la hiperpigmentación de la piel.
- **Industria química:** Los fenoles y sus derivados se emplean como intermedios en la síntesis de colorantes, resinas y plásticos. El resorcinol es un componente clave en la fabricación de resinas adhesivas de alta resistencia.
- **Agroindustria:** Los fenoles son utilizados como agentes protectores y antioxidantes en la formulación de productos agroquímicos, mejorando la estabilidad y eficacia de pesticidas y herbicidas.

#### 4.7.3. Importancia

En el contexto de la agroindustria y las ciencias pecuarias, los fenoles juegan un papel crucial debido a sus propiedades biológicas y químicas.

- **Desinfectantes y antisépticos:** Los fenoles se utilizan en soluciones desinfectantes para la limpieza y desinfección de instalaciones pecuarias, ayudando a prevenir la propagación de enfermedades.
- **Antioxidantes en alimentos:** Los fenoles naturales, presentes en plantas y alimentos, actúan como antioxidantes, mejorando la calidad y la vida útil de los productos alimenticios destinados a la alimentación animal.
- **Suplementos alimenticios:** Los extractos de plantas ricos en compuestos fenólicos se utilizan como suplementos alimenticios para mejorar la salud y el bienestar de los animales, gracias a sus propiedades antiinflamatorias y antioxidantes.

Estas aplicaciones destacan la versatilidad y la importancia de los fenoles y los hidroxifenoles en la agroindustria y las ciencias pecuarias, contribuyendo significativamente a la mejora de la salud animal y la producción sostenible.

## 4.8. Aldehídos

### 4.8.1. Introducción

Los aldehídos son una clase importante de compuestos orgánicos oxigenados, caracterizados por la presencia de un grupo funcional carbonilo ( $-C=O$ ) unido a un átomo de hidrógeno. (Figura 4.7). Estos compuestos son útiles tanto en los procesos biológicos como en diversas aplicaciones industriales, incluidas las ciencias pecuarias y la agroindustria.

La versatilidad de los aldehídos y su capacidad para participar en una variedad de reacciones químicas los hacen esenciales en la química orgánica y en las aplicaciones prácticas dentro de las ciencias pecuarias y la agroindustria. En este capítulo, exploraremos en detalle la estructura, propiedades, reacciones y aplicaciones de los aldehídos, destacando su relevancia en estos campos.

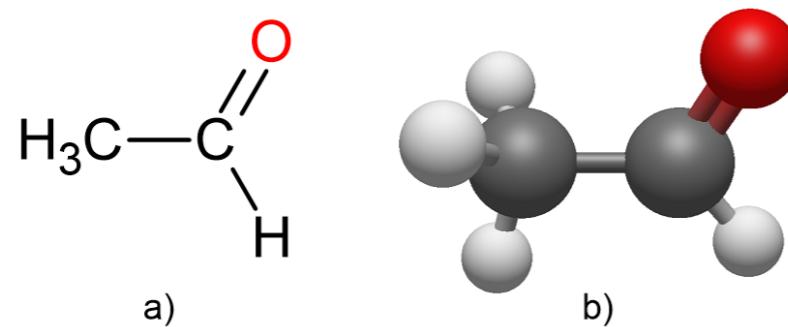


Figura. 4.7 Etanal. a) estructura condensada. b) estructura de bolas y varillas.

### 4.8.2. Propiedades fisicoquímicas de los aldehídos

Los aldehídos son compuestos orgánicos caracterizados por la presencia del grupo funcional carbonilo ( $-C=O$ ) unido a un átomo de hidrógeno (-H). Este grupo funcional confiere a los aldehídos una serie de propiedades físicas y químicas únicas, las cuales son cruciales para su comportamiento y aplicaciones tanto en la química orgánica como en la agroindustria y ciencias pecuarias.

#### 4.8.2.1. Propiedades físicas

- Estado físico:** Los aldehídos de bajo peso molecular, como el formaldehído ( $CH_2O$ ) y el acetaldehído ( $C_2H_4O$ ), son gases o líquidos volátiles a temperatura ambiente. Los aldehídos con cadenas más largas son líquidos o sólidos.
- Punto de ebullición:** Los aldehídos tienen puntos de ebullición más bajos que los alcoholes de peso molecular comparable debido a la ausencia de enlaces de hidrógeno entre las moléculas de aldehído. Sin embargo, los puntos de ebullición son más altos que los de los hidrocarburos correspondientes debido a las

interacciones dipolo-dipolo entre los grupos carbonilo.

- Solubilidad:** Los aldehídos son generalmente solubles en agua debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre el oxígeno del grupo carbonilo y el agua. La solubilidad disminuye con el aumento de la longitud de la cadena carbonada. Son solubles en muchos solventes orgánicos como el éter y el etanol.
- Olor:** Muchos aldehídos tienen olores característicos y penetrantes. Por ejemplo, el formaldehído tiene un olor fuerte e irritante, mientras que el benzaldehído ( $C_7H_6O$ ) tiene un aroma a almendras.

Estas propiedades físico-químicas hacen de los aldehídos compuestos versátiles y útiles en diversas aplicaciones, incluyendo la síntesis de otros compuestos orgánicos, la preservación de alimentos y productos farmacéuticos, y la manufactura de productos químicos industriales. En el ámbito de las ciencias pecuarias y la agroindustria, los aldehídos son esenciales para el desarrollo de conservantes, desinfectantes y aditivos que mejoran la producción y la calidad de los productos pecuarios.

### 4.8.3. Nomenclatura

La nomenclatura de los aldehídos sigue las reglas establecidas por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Los aldehídos se nombran utilizando el sufijo “-al” para indicar la presencia del grupo funcional aldehído (-CHO). A continuación, se detallan las reglas básicas para nombrar aldehídos.

#### 4.8.3.1. Reglas de nomenclatura IUPAC

- Selección de la cadena principal:** Selecciona la cadena de carbonos más larga que contiene el grupo aldehído. Esta cadena determina el nombre base del aldehído.
- Numeración de la cadena:** Numera los átomos de carbono en la cadena principal comenzando desde el carbono del grupo aldehído (C1).
- Identificación de sustituyentes:** Cualquier otro grupo funcional o sustituyente se nombra y se numera de acuerdo con su posición en la cadena principal.
- Uso del sufijo “-al”:** El sufijo “-al” se añade al nombre base del hidrocarburo correspondiente, indicando la presencia del grupo funcional aldehído.

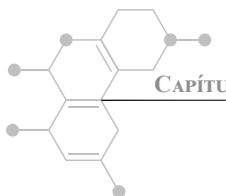
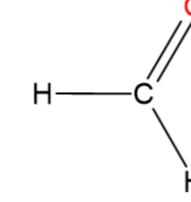
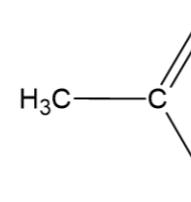
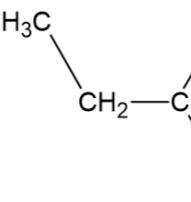
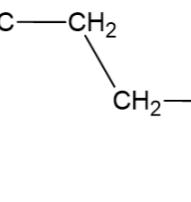
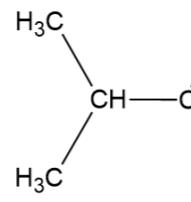
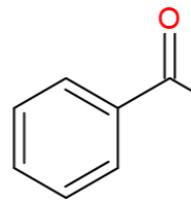


Tabla 4.7 Ejemplos de nomenclatura de aldehídos.

Nombre Tradicional	Nombre IUPAC	Fórmula Química
Formaldehído	Metanal	
Acetaldehído	Etanal	
Propionaldehído	Propanal	
Butiraldehído	Butanal	
Isobutiraldehído	2-Metilpropanal	
Benzaldehído	Benzaldehído	

#### 4.8.3.2. Nomenclatura de aldehídos con sustituyentes

Cuando hay sustituyentes en la cadena principal, se enumeran y nombran en orden alfabético, con sus respectivas posiciones indicadas antes del nombre base del aldehído.

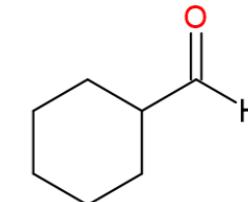
**3-Metilbutanal:** Un aldehído con un grupo metilo en el tercer carbono.

**2-Cloroetanal:** Un aldehído con un grupo cloro en el segundo carbono.

#### 4.8.3.3. Nomenclatura de aldehídos en ciclos

Para los aldehídos cíclicos, el carbono del grupo aldehído siempre se considera el carbono número 1. El sufijo “-carbaldehído” se usa para indicar la presencia del grupo funcional aldehído en compuestos cíclicos.

**Ciclohexanocarbaldehído:** Un aldehído con un anillo de ciclohexano.



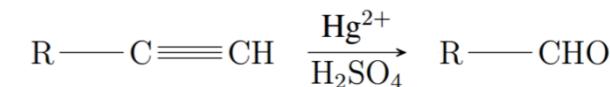
La nomenclatura adecuada de los aldehídos es crucial para la identificación y comunicación precisa de estos compuestos en la química orgánica y sus aplicaciones en la agroindustria y las ciencias pecuarias.

#### 4.8.4. Reacciones de obtención

Los aldehídos pueden ser sintetizados a través de diversas reacciones químicas. A continuación, se describen algunas de las reacciones más comunes para la obtención de aldehídos:

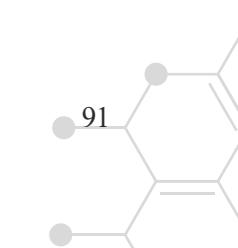
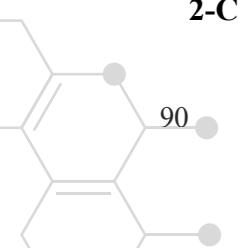
##### Hidratación de alquinos

La hidratación de alquinos es una reacción que convierte un alquino terminal en un aldehído. Este proceso utiliza catalizadores de mercurio y ácidos.



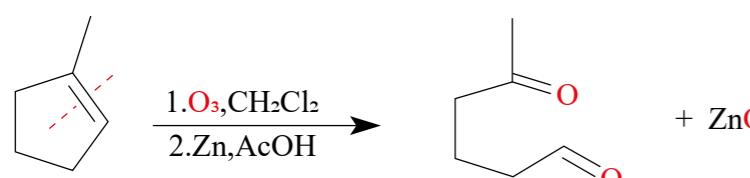
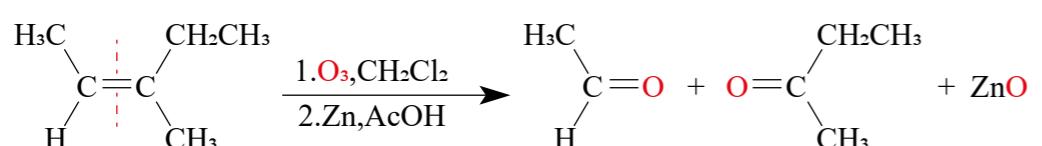
##### 4.8.4.1. Oxidación de Alcoholes Primarios

La oxidación de alcoholes primarios es una de las rutas más directas para la síntesis de aldehídos. Utilizando agentes oxidantes suaves, algunas alternativas más selectivas incluyen el **clorocromato de piridinio (PCC)**, un reactivo que permite la oxidación controlada de alcoholes primarios a aldehídos sin llegar a ácido.



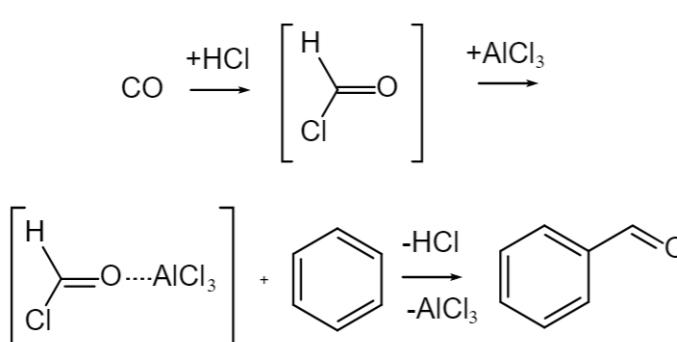
#### 4.8.4.2. Oxidación de alquenos

La oxidación de alquenos mediante ozonólisis es una técnica eficaz para la obtención de aldehídos. En este proceso, el ozono divide el doble enlace del alqueno, formando aldehídos o cetonas dependiendo de la estructura del alqueno.



#### 4.8.4.3. Reacciones de Gattermann-Koch

La reacción de Gattermann-Koch es específica para la obtención de aldehídos aromáticos. Este método implica la formilación de compuestos aromáticos utilizando monóxido de carbono (CO) y cloruro de hidrógeno (HCl) en presencia de un catalizador de cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ).



#### 4.8.5. Otros métodos

Además de los métodos mencionados, existen otras técnicas para la síntesis de aldehídos, como la hidroboración-oxidación de alquenos y la reducción parcial de ésteres.

Estas reacciones son fundamentales para la síntesis de aldehídos en la química orgánica, y su comprensión es esencial para la aplicación práctica en la industria y la investigación científica. En el ámbito de las ciencias pecuarias y la agroindustria, los aldehídos obtenidos a través de estas reacciones se utilizan en la formulación de desinfectantes, conservantes y otros productos químicos esenciales.

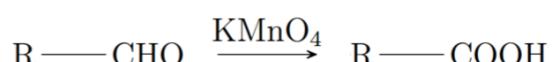
<sup>1</sup> Obtenido de: <https://www.quimicaorganica.net/sites/default/files/img/organica/reacciones-alquenos/ozonolisis/ozonolisis-01.png>

#### 4.8.6. Reacciones de aldehídos

Los aldehídos son compuestos muy reactivos debido a la presencia del grupo carbonilo ( $-\text{C=O}$ ) en su estructura. Esta reactividad se manifiesta en una variedad de reacciones químicas importantes en la química orgánica y en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la agroindustria y las ciencias pecuarias. A continuación, se describen algunas de las reacciones más relevantes de los aldehídos:

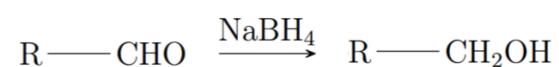
##### 4.8.6.1. Oxidación

Los aldehídos pueden oxidarse fácilmente para formar ácidos carboxílicos. Esta reacción se lleva a cabo utilizando agentes oxidantes como el permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), el dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), o el reactivo de Tollens ( $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ ).



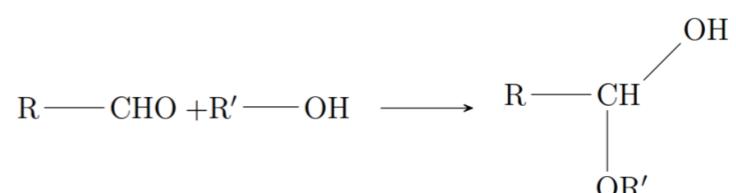
##### 4.8.6.2. Reducción de aldehídos

Los aldehídos pueden reducirse a alcoholes primarios mediante agentes reductores como el borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) o el hidruro de litio y aluminio ( $\text{LiAlH}_4$ ).



##### 4.8.6.3. Adición nucleofílica

Debido a la polaridad del grupo carbonilo, los aldehídos son susceptibles a la adición nucleofílica. Esta reacción implica la adición de un nucleófilo al carbono del grupo carbonilo, seguido por la protonación del oxígeno. Ejemplos de esta reacción incluyen la formación de hemiacetales y acetales con alcoholes, y la formación de cianohidrinas con cianuro de hidrógeno ( $\text{HCN}$ ).



#### 4.8.6.4. Reacción de Cannizzaro

La reacción de Cannizzaro es una reacción desproporcionada de aldehídos sin hidrógenos alfa en presencia de una base fuerte, como el hidróxido de sodio (NaOH). En esta reacción, un aldehído se oxida a un ácido carboxílico y otro se reduce a un alcohol.



#### 4.8.6.5. Formación de iminas

Los aldehídos reaccionan con aminas primarias para formar iminas (bases de Schiff). Esta reacción es importante en la síntesis orgánica y en la química biológica.



Estas reacciones ilustran la versatilidad y reactividad de los aldehídos en la química orgánica. En el ámbito de la agroindustria y las ciencias pecuarias, los aldehídos participan en la síntesis de diversos productos químicos, incluyendo conservantes, desinfectantes y compuestos de interés biológico y farmacéutico.

### 4.9. Cetonas

#### 4.9.1. Introducción

Las cetonas son una clase de compuestos orgánicos caracterizados por la presencia de un grupo carbonilo (-C=O) unido a dos átomos de carbono. (Figura 4.8). Este grupo funcional confiere a las cetonas propiedades químicas y físicas particulares, haciendo que estos compuestos sean muy importantes en diversas aplicaciones industriales y científicas.

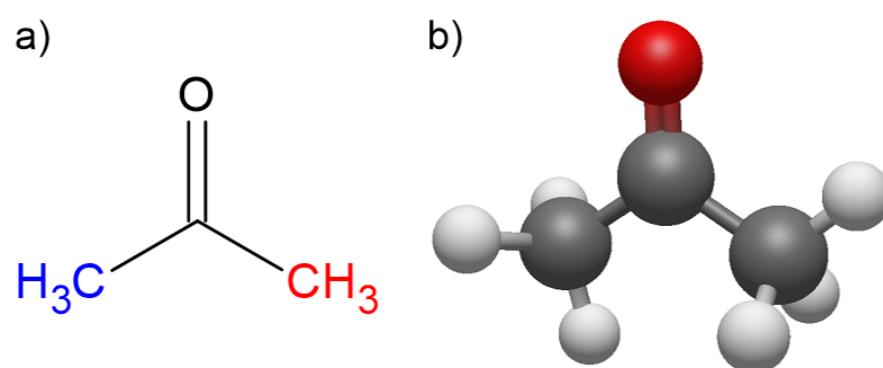


Figura. 4.8 Estructuras de la propanona. a) Estructura semidesarrollada b) Estructura de bolas y varillas.

En el ámbito de las ciencias pecuarias, las cetonas desempeñan un papel crucial en la nutrición y salud animal. Por ejemplo, algunas cetonas naturales, como la acetona, son intermediarios metabólicos clave en el ciclo de Krebs, una ruta metabólica central en la bioquímica animal. Además, las cetonas se utilizan en la formulación de aditivos alimentarios que mejoran la digestibilidad y el valor nutricional de los piensos para el ganado.

En la agroindustria, las cetonas se usan en la síntesis de una amplia gama de productos químicos, incluidos herbicidas, pesticidas y reguladores del crecimiento de las plantas. Las cetonas también se emplean en la producción de aromas y sabores artificiales, que se utilizan para mejorar la palatabilidad de los alimentos para animales. Además, ciertas cetonas actúan como solventes en la formulación de productos veterinarios y agroquímicos, gracias a su capacidad para disolver una variedad de sustancias químicas.

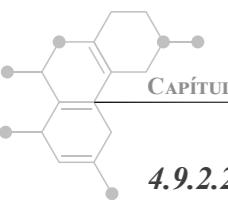
El estudio de las cetonas no solo es fundamental para comprender los procesos bioquímicos y metabólicos en los seres vivos, sino también para desarrollar prácticas efectivas en la producción animal y la agroindustria. Este capítulo explorará en detalle la estructura, propiedades, reacciones y aplicaciones de las cetonas, destacando su relevancia en estos campos.

#### 4.9.2. Propiedades fisicoquímicas de las cetonas

Este grupo funcional (-COC-) confiere a las cetonas una serie de propiedades físicas y químicas únicas, usados para aplicaciones en diversas industrias, incluyendo la agroindustria y las ciencias pecuarias.

##### 4.9.2.1. Propiedades físicas

- Estado físico:** Las cetonas de bajo peso molecular, como la acetona ( $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ) y la butanona ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ ), son líquidos volátiles a temperatura ambiente. A medida que aumenta el peso molecular, las cetonas pueden ser líquidas o sólidas.
- Solubilidad:** Las cetonas son solubles en agua debido a la capacidad de formar enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua. La solubilidad disminuye a medida que aumenta la longitud de la cadena carbonada. Las cetonas también son solubles en muchos disolventes orgánicos, como el etanol y el éter.
- Punto de ebullición:** Las cetonas tienen puntos de ebullición más altos que los alkanos de similar peso molecular, debido a la polaridad del grupo carbonilo, pero son más bajos que los de los alcoholes correspondientes. El punto de ebullición aumenta con el incremento del peso molecular.
- Punto de fusión:** Al igual que los puntos de ebullición, los puntos de fusión de las cetonas aumentan con el peso molecular. Las cetonas con cadenas lineales tienden a tener puntos de fusión más altos que sus isómeros ramificados.
- Densidad:** Las cetonas suelen tener densidades cercanas a la del agua, variando entre 0.8 y 1.0 g/mL, dependiendo de su estructura molecular.



#### 4.9.2.2. Propiedades químicas

- Polaridad:** El grupo carbonilo ( $-C=O$ ) es altamente polar debido a la diferencia de electronegatividad entre el carbono y el oxígeno. Esto hace que las cetonas tengan un momento dipolar significativo.
- Reactividad:** Las cetonas son más reactivas que los éteres, pero menos reactivas que los aldehídos. La presencia del grupo carbonilo las hace susceptibles a reacciones de adición nucleofílica.
- Puentes de hidrógeno:** Aunque las cetonas no pueden formar enlaces de hidrógeno entre sus propias moléculas (como lo hacen los alcoholes), pueden actuar como aceptores de enlaces de hidrógeno con moléculas de agua y otros compuestos que contengan hidrógeno enlazado a átomos electronegativos.
- Estabilidad:** Las cetonas son generalmente estables bajo condiciones normales, pero pueden ser oxidadas a ácidos carboxílicos en presencia de agentes oxidantes fuertes.

Estas propiedades hacen que las cetonas sean útiles en una amplia variedad de aplicaciones en la agroindustria y las ciencias pecuarias, incluyendo la formulación de desinfectantes, solventes y otros productos químicos esenciales para la producción y mantenimiento de la salud animal.

#### 4.9.3. Nomenclatura

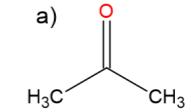
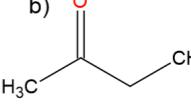
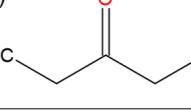
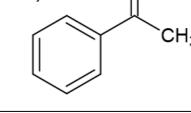
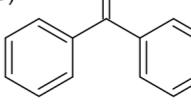
Las cetonas se nombran siguiendo las reglas de la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), que proporciona un sistema sistemático para nombrar compuestos orgánicos. En la nomenclatura de las cetonas, el sufijo “-ona” se utiliza en lugar de “-ano” para indicar la presencia del grupo carbonilo. A continuación, se presentan las reglas básicas para la nomenclatura de cetonas:

##### 4.9.3.1. Reglas de nomenclatura IUPAC

- Identificación de la cadena principal:** Selecciona la cadena de carbonos más larga que contenga el grupo carbonilo.
- Numeración de la cadena:** Numera la cadena principal de manera que el grupo carbonilo reciba el número más bajo posible.
- Identificación de sustituyentes:** Nombra y numera cualquier grupo funcional o sustituyente que esté unido a la cadena principal.
- Sufijo “-ona”:** Añade el sufijo “-ona” al nombre del hidrocarburo correspondiente, e indica la posición del grupo carbonilo con un número si es necesario.

A continuación, se muestra la tabla 4.9 con ejemplos de cetonas comunes, incluyendo tanto la nomenclatura tradicional como la nomenclatura IUPAC, y sus fórmulas químicas.

Tabla 4.9 Ejemplos de nomenclatura de cetonas.

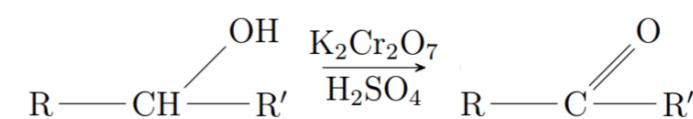
Nombre Tradicional	Nombre IUPAC	Fórmula Química
Acetona	Propanona	a) 
Metil etil cetona	Butanona	b) 
Dietil cetona	Pentan-3-ona	c) 
Acetofenona	1-Feniletanona	d) 
Benzofenona	Difenilmetanona	e) 

#### 4.9.4. Reacciones de obtención

Las cetonas son compuestos orgánicos caracterizados por la presencia de un grupo carbonilo ( $-C=O$ ) unido a dos átomos de carbono. Existen varios métodos para sintetizar cetonas, cada uno adecuado para diferentes contextos y necesidades específicas en la química orgánica, la agroindustria y las ciencias pecuarias.

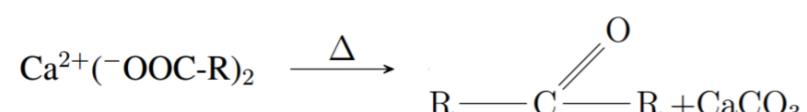
##### 4.9.4.1. Oxidación de alcoholes secundarios

La oxidación de alcoholes secundarios es una de las formas más comunes de obtener cetonas. Este proceso puede realizarse utilizando diferentes agentes oxidantes como dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ) en medio ácido o hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ).



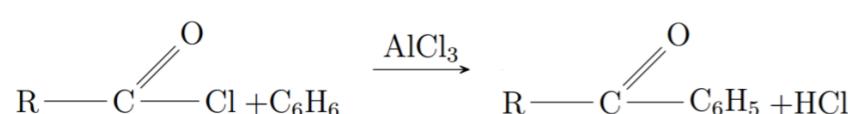
##### 4.9.4.2. Hidrólisis de sales de calcio de ácidos carboxílicos

La hidrólisis de sales de calcio de ácidos carboxílicos es otro método para obtener cetonas. Esta reacción involucra la descomposición térmica de las sales de calcio para producir cetonas y dióxido de carbono.



#### 4.9.4.3. Acilación de Friedel-Crafts

La acilación de Friedel-Crafts es un método utilizado para obtener cetonas aromáticas. Esta reacción involucra la reacción de un cloruro de acilo con un compuesto aromático en presencia de un catalizador ácido de Lewis, como el cloruro de aluminio ( $\text{AlCl}_3$ ).



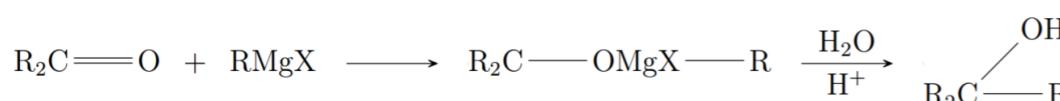
Estos métodos ilustran la versatilidad de las reacciones químicas para la síntesis de cetonas, destacando su importancia en la química orgánica y sus aplicaciones prácticas en la agroindustria y las ciencias pecuarias.

#### 4.9.5. Reacciones de cetonas

Las cetonas son compuestos orgánicos que contienen un grupo carbonilo ( $-\text{C}=\text{O}$ ) unido a dos átomos de carbono. Este grupo funcional confiere a las cetonas una serie de propiedades químicas únicas que las hacen reactivas en diversas reacciones químicas. A continuación, se describen algunas de las reacciones más importantes de las cetonas.

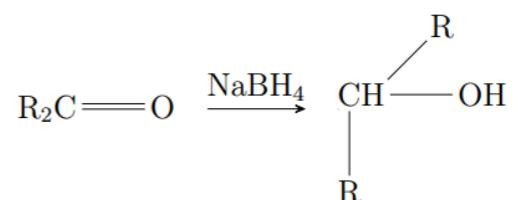
##### 4.9.5.1. Reacción con reactivos de Grignard

Las cetonas reaccionan con reactivos de Grignard ( $\text{RMgX}$ ) para formar alcoholes terciarios. Esta reacción es útil para la síntesis de alcoholes complejos y se lleva a cabo en dos etapas: la adición del reactivo de Grignard y la posterior hidrólisis.



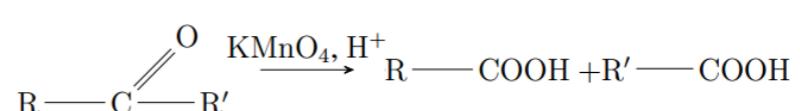
##### 4.9.5.2. Reducción a alcoholes secundarios

Las cetonas pueden reducirse a alcoholes secundarios mediante la acción de agentes reducidores como el borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) o el hidruro de litio y aluminio ( $\text{LiAlH}_4$ ). Esta reacción es fundamental para la síntesis de alcoholes secundarios a partir de cetonas.



##### 4.9.5.3. Oxidación a ácidos carboxílicos

Las cetonas pueden oxidarse a ácidos carboxílicos mediante la acción de oxidantes fuertes como el permanganato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) en condiciones ácidas. Aunque esta reacción es menos común que la oxidación de los aldehídos, es importante en la química orgánica.



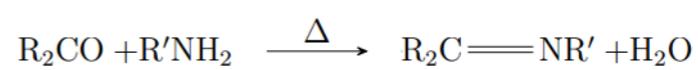
##### 4.9.5.4. Adición de cianuro de hidrógeno

Las cetonas reaccionan con cianuro de hidrógeno ( $\text{HCN}$ ) para formar cianohidrinas. Esta reacción es útil para la introducción de grupos cianuro ( $-\text{CN}$ ) en la molécula, que pueden ser transformados en otros grupos funcionales.



##### 4.9.5.5. Formación de iminas

Las cetonas reaccionan con aminas primarias para formar iminas, también conocidas como bases de Schiff. Esta reacción implica la condensación del grupo carbonilo con el grupo amino, seguido de la eliminación de agua.



Estas reacciones ilustran la versatilidad de las cetonas en la química orgánica, destacando su importancia en diversas aplicaciones prácticas dentro de la agroindustria y las ciencias pecuarias. La capacidad de las cetonas para participar en una amplia variedad de reacciones químicas las convierte en compuestos clave en la síntesis de productos químicos y farmacéuticos, así como en la formulación de aditivos y suplementos alimenticios.

## 4.10. Colorantes de origen vegetal y su uso en la industria pecuaria

Los colorantes de origen vegetal han sido utilizados desde tiempos antiguos para teñir fibras naturales. En la industria pecuaria, estos colorantes son especialmente valiosos para el teñido de lanas y fibras provenientes de animales como ovejas, alpacas, vicuñas y llamas. Estos colorantes no solo ofrecen una alternativa sostenible y ecológica a los colorantes sintéticos, sino que también aportan beneficios adicionales en términos de calidad y preservación de las fibras.

### 4.10.1. Principales colorantes vegetales

#### 4.10.1.1. *Rubia Tinctorum*

La raíz de la planta *Rubia tinctorum* es una fuente rica en alizarina, un colorante rojo intenso que se utiliza para teñir lana y otras fibras animales. Este colorante es conocido por su durabilidad y resistencia al desvanecimiento, lo que lo hace ideal para textiles de alta calidad.

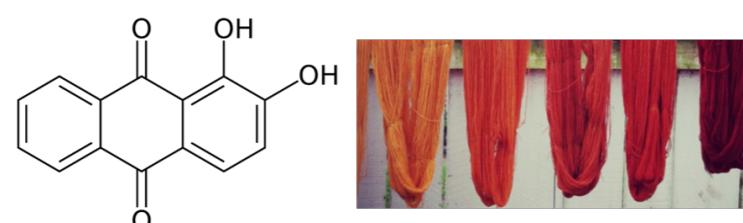


Figura 4.10 Alizarina o 1,2-dihidroxiantraquinona, colorante obtenido de las raíces de las plantas de rubia.

#### 4.10.1.2. *Indigofera Tinctoria* (Índigo)

El índigo, obtenido de la planta *Indigofera tinctoria*, es uno de los colorantes naturales más antiguos y se utiliza para producir tonos de azul profundo. Este colorante es especialmente apreciado en la industria textil por su capacidad para crear colores vibrantes y duraderos.

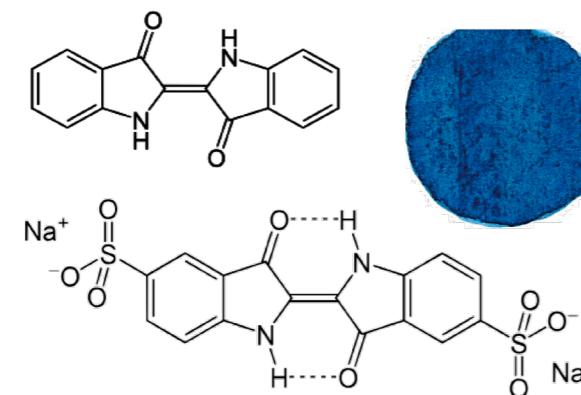


Figura 4.11 La tintura se obtiene de las hojas, las cuales tienen los colorantes azules indigotina e Indigoferina.

#### 4.10.1.3. *Juglans nigra* (nogal negro)

Las cáscaras de nogal negro contienen juglona, un compuesto que produce tonos marrones y negros. Este colorante se utiliza ampliamente para obtener colores oscuros y ricos en fibras animales, proporcionando una excelente cobertura y durabilidad.



Figura 4.12 Juglona (5-hidroxi-1,4-naftoquinona) es un tinte de color marrón-negro fue utilizado por los colonos americanos para teñir el cabello.

#### 4.10.1.4. *Carthamus tinctorius* (cártamo)

El cártamo produce un colorante amarillo a partir de sus flores. Este colorante es utilizado para teñir lana y otras fibras animales, ofreciendo una gama de tonos desde el amarillo claro hasta el dorado profundo.

Tabla 4.2 Principales Colorantes Vegetales Utilizados en la Industria Pecuaria.

Planta	Parte Utilizada	Color Obtenido	Fibras
<i>Rubia tinctorum</i>	Raíz	Rojo	Lana, Alpaca
<i>Indigofera tinctoria</i>	Hojas	Azul	Lana, Vicuña
<i>Juglans nigra</i>	Cáscara	Marrón/Negro	Lana, Llama
<i>Carthamus tinctorius</i>	Flores	Amarillo	Lana, Alpaca

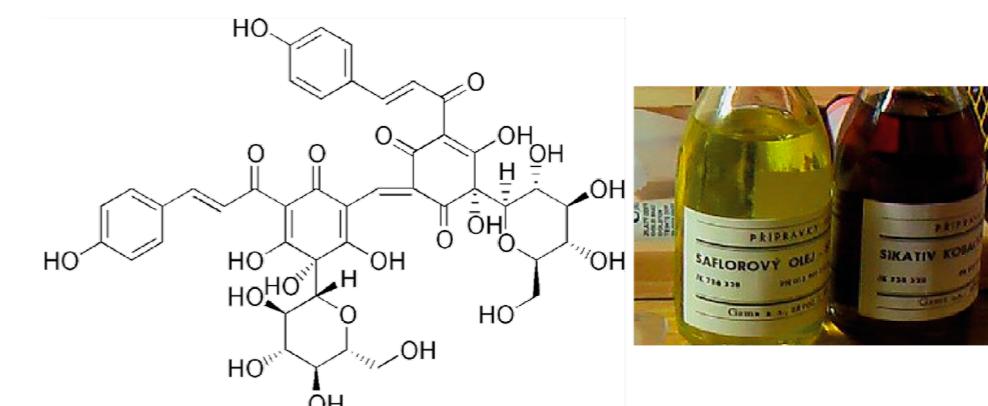


Figura 4.13 La carthamina es un pigmento natural rojo derivado del cártamo (*Carthamus tinctorius*). Se utiliza como tinte y colorante alimentario.

## 4.10.2.1. Teñido de fibras de animales

Los colorantes vegetales se utilizan ampliamente para teñir fibras animales como lana de oveja, fibra de alpaca, vicuña y llama. Estos colorantes son preferidos por su compatibilidad con las fibras naturales, su baja toxicidad y su impacto ambiental reducido en comparación con los colorantes sintéticos.

## 4.10.2.2. Mejora de la calidad del textil

El uso de colorantes vegetales no solo proporciona colores vibrantes y duraderos, sino que también mejora la calidad del textil. Las fibras teñidas con colorantes naturales tienden a mantener su suavidad y flexibilidad, lo que resulta en productos finales de mayor calidad y confort.

## 4.10.2.3. Sostenibilidad y ecología

Los colorantes vegetales representan una alternativa sostenible y ecológica en la industria textil. La utilización de recursos renovables y biodegradables reduce el impacto ambiental asociado con el teñido de fibras, promoviendo prácticas más responsables y sostenibles.

## CAPÍTULO V

## 5. Ácidos carboxílicos y derivados

## 5.1. Introducción

Los ácidos carboxílicos y sus derivados son una clase fundamental de compuestos orgánicos que desempeñan un papel crucial en una amplia gama de procesos biológicos y aplicaciones industriales. Los ácidos carboxílicos contienen el grupo funcional carboxilo ( $-\text{COOH}$ ), que consiste en un grupo carbonilo ( $\text{C=O}$ ) unido a un grupo hidroxilo ( $-\text{OH}$ ). Los derivados de los ácidos carboxílicos, como ésteres, amidas, anhídridos y cloruros de acilo, se forman mediante la sustitución del grupo hidroxilo por otros grupos funcionales.

En el contexto de las ciencias pecuarias, los ácidos carboxílicos y sus derivados son fundamentales para la nutrición y la salud animal. Los ácidos grasos, que son ácidos carboxílicos de cadena larga, son componentes esenciales de las membranas celulares y sirven como fuente de energía. Además, algunos derivados de los ácidos carboxílicos, como los ésteres y las amidas, se utilizan en la formulación de medicamentos y suplementos alimenticios para mejorar el bienestar y la productividad del ganado.

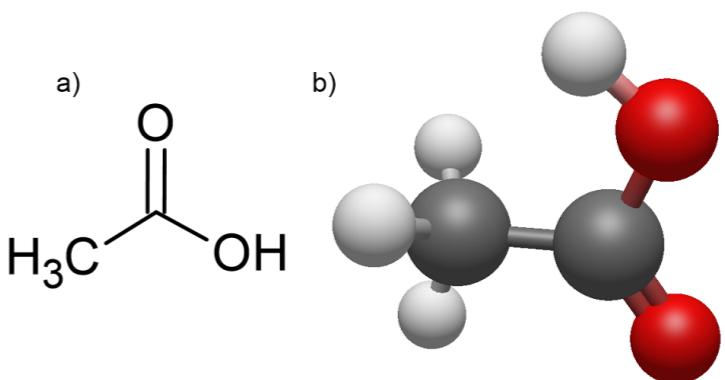


Figura 5.1 Ácido etanoico. a) estructura semidesarrollada, b) estructura de bolas y varillas.

En la agroindustria, los ácidos carboxílicos y sus derivados tienen múltiples aplicaciones. Los ácidos carboxílicos se utilizan en la producción de conservantes y aditivos alimentarios, que son cruciales para la conservación de los alimentos para animales. Los ésteres se emplean en la fabricación de aromas y sabores artificiales, mejorando la palatabilidad de los productos alimenticios. Los anhídridos y los cloruros de acilo se utilizan como intermedios en la síntesis de agroquímicos, como herbicidas y pesticidas, que son esenciales para la gestión de cultivos y la producción agrícola sostenible.

La comprensión de la química de los ácidos carboxílicos y sus derivados es esencial para el desarrollo de prácticas efectivas en la producción animal y la agroindustria. Este capítulo explorará en detalle las propiedades, nomenclatura, reacciones y aplicaciones de estos compuestos, destacando su importancia en estos campos.

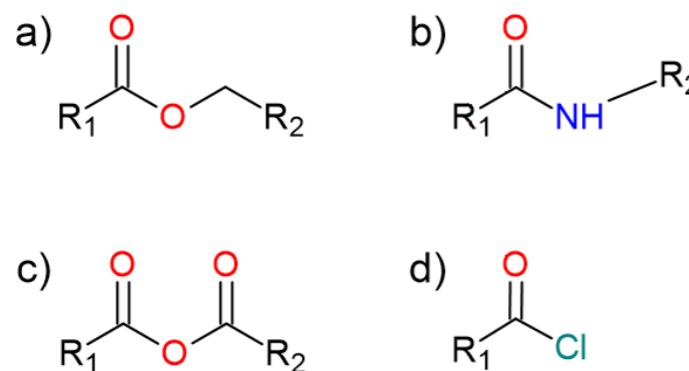


Figura 5.2 Grupos funcionales derivados de los ácidos carboxílicos. a) ésteres, b) amidas, c) peróxidos, d) cloruros de acilo.

## 5.2. Propiedades fisicoquímicas

Los ácidos carboxílicos son una clase importante de compuestos orgánicos caracterizados por la presencia del grupo funcional carboxilo ( $-\text{COOH}$ ). Este grupo funcional confiere a los ácidos carboxílicos una serie de propiedades químicas y físicas únicas que son esenciales para sus aplicaciones en diversas industrias, incluyendo la agroindustria y las ciencias pecuarias.

### 5.2.1. Propiedades físicas

- Estado físico:** Los ácidos carboxílicos de bajo peso molecular, como el ácido fórmico ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) y el ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), son líquidos a temperatura ambiente. Los ácidos de cadena más larga y los ácidos dicarboxílicos suelen ser sólidos.
- Punto de ebullición:** Los ácidos carboxílicos tienen puntos de ebullición relativamente altos debido a la capacidad del grupo carboxilo para formar puentes de hidrógeno. Los puntos de ebullición aumentan con la longitud de la cadena carbonada.
- Punto de fusión:** Los puntos de fusión de los ácidos carboxílicos también son elevados, especialmente para los ácidos de cadena larga, debido a las interacciones intermoleculares fuertes. Los ácidos carboxílicos de cadena par tienen puntos de fusión más altos que sus homólogos de cadena impar.
- Solubilidad:** Los ácidos carboxílicos de bajo peso molecular son solubles en agua debido a su capacidad para formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. La solubilidad disminuye con el aumento de la longitud de la cadena carbonada.

- Densidad:** Los ácidos carboxílicos suelen tener densidades cercanas a la del agua, variando entre 1.0 y 1.2 g/mL, dependiendo de su estructura molecular y peso.

### 5.2.2. Propiedades químicas

- Acidez:** Los ácidos carboxílicos son ácidos débiles, pero más fuertes que los alcoholes y fenoles. La acidez se debe a la deslocalización de la carga negativa en la base conjugada (anión carboxilato) a través de resonancia.
- Reactividad:** Los ácidos carboxílicos son altamente reactivos debido a la presencia del grupo carboxilo. Participan en una variedad de reacciones químicas, incluyendo la formación de ésteres, amidas, anhídridos y cloruros de acilo.
- Formación de sales:** Los ácidos carboxílicos pueden reaccionar con bases para formar sales carboxilato. Esta propiedad es importante en la agroindustria para la neutralización de suelos ácidos y en la formulación de suplementos minerales para animales.
- Esterificación:** En presencia de alcoholes y un ácido catalizador, los ácidos carboxílicos pueden formar ésteres, que son utilizados en una amplia gama de aplicaciones, desde la fabricación de aromas y sabores hasta la producción de bioplásticos.

Estas propiedades hacen que los ácidos carboxílicos y sus derivados sean extremadamente útiles en una variedad de aplicaciones en la agroindustria y las ciencias pecuarias. Por ejemplo, los ácidos grasos, que son ácidos carboxílicos de cadena larga, son esenciales para la nutrición animal y la producción de biocombustibles. Además, la capacidad de los ácidos carboxílicos para formar enlaces de hidrógeno los hace valiosos en la formulación de productos de limpieza y desinfectantes.

## 5.3. Propiedades fisicoquímicas de los derivados de ácidos carboxílicos

Los derivados de los ácidos carboxílicos, como ésteres, amidas, anhídridos y cloruros de acilo, poseen una amplia gama de propiedades fisicoquímicas que influyen en su reactividad y aplicaciones. Estas propiedades están determinadas por la estructura del grupo funcional carboxílico y los sustituyentes presentes.

### 5.3.1. Ésteres

- Punto de fusión y ebullición:** Los ésteres generalmente tienen puntos de ebullición más bajos que los ácidos carboxílicos correspondientes debido a la falta de puentes de hidrógeno intermoleculares. Sin embargo, los puntos de fusión varían ampliamente según la estructura del éster.
- Solubilidad:** Son solubles en solventes orgánicos y, dependiendo de su tamaño, pueden ser ligeramente solubles en agua. Los ésteres de bajo peso molecular tienen una mayor solubilidad en agua.

- Polaridad:** Los ésteres son compuestos polares debido a la presencia del grupo carbonilo ( $C = O$ ) y el oxígeno del éster ( $-COO-$ ), pero son menos polares que los ácidos carboxílicos.

### 5.3.2. Amidas

- Punto de fusión y ebullición:** Las amidas, especialmente las primarias y secundarias, tienen puntos de fusión y ebullición elevados debido a la formación de puentes de hidrógeno. Las amidas terciarias, que no pueden formar puentes de hidrógeno, tienen puntos de ebullición más bajos.
- Solubilidad:** Las amidas son solubles en agua y en muchos solventes orgánicos debido a su capacidad para formar puentes de hidrógeno.
- Polaridad:** Son compuestos muy polares, lo que contribuye a su alta solubilidad en agua.

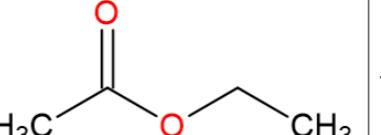
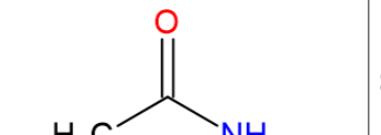
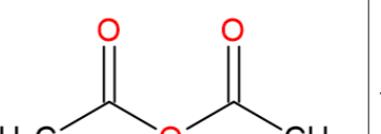
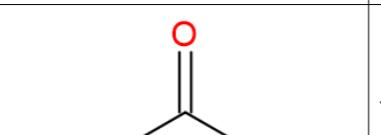
### 5.3.3. Anhídridos

- Punto de fusión y ebullición:** Los anhídridos tienen puntos de ebullición relativamente altos, pero menores que los ácidos carboxílicos debido a la falta de puentes de hidrógeno intermoleculares.
- Solubilidad:** Son solubles en solventes orgánicos, pero reaccionan con agua, lo que limita su solubilidad acuosa.
- Reactividad:** Los anhídridos son reactivos y se hidrolizan fácilmente en agua para formar dos moléculas de ácido carboxílico.

### 5.3.4. Cloruros de Acilo

- Punto de fusión y ebullición:** Los cloruros de acilo tienen puntos de ebullición bajos y son generalmente líquidos a temperatura ambiente. Esto se debe a la ausencia de puentes de hidrógeno y a la alta reactividad del grupo.
- Solubilidad:** Son solubles en solventes orgánicos, pero reaccionan violentamente con el agua, formando ácidos carboxílicos y liberando ácido clorhídrico ( $HClO_3$ ).
- Reactividad:** Los cloruros de acilo son altamente reactivos y se utilizan ampliamente como intermediarios en la síntesis orgánica debido a su capacidad para formar ésteres, amidas y anhídridos.

Tabla 5.1 Propiedades fisicoquímicas de algunos derivados de ácidos carboxílicos.

Derivado	Fórmula	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Densidad (g/mL)
Acetato de Etilo		-83.6	77.1	0.902
Acetamida		82.3	222	1.159
Anhídrido Acético		-73.1	139.8	1.082
Cloruro de Acetilo		-112	51	1.104

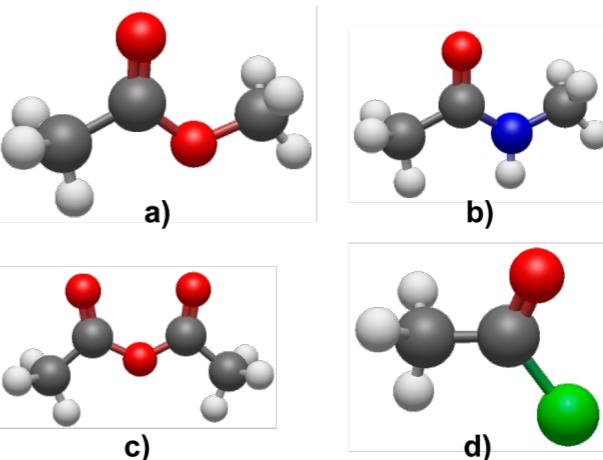


Figura 5.3 Estructuras de bolas y varillas de grupos funcionales de derivados de ácidos carboxílicos. a) éster, b) amida, c) peróxido, d) cloruro de acilo.

Estas propiedades fisicoquímicas resaltan la diversidad y utilidad de los derivados de ácidos carboxílicos en diversas aplicaciones industriales, incluyendo la agroindustria y las ciencias pecuarias. Su comprensión es esencial para su manipulación y uso eficaz en la síntesis y formulación de productos químicos.

## 5.4. Nomenclatura de los ácidos carboxílicos

La nomenclatura de los ácidos carboxílicos sigue las reglas establecidas por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), que proporcionan un sistema sistemático y uniforme para nombrar estos compuestos. Los ácidos carboxílicos se nombran tomando como base la cadena de carbono más larga que incluye el grupo carboxilo (-COOH). A continuación, se describen las reglas básicas para la nomenclatura de los ácidos carboxílicos.

### 5.4.1. Reglas de nomenclatura IUPAC

- Identificación de la cadena principal:** Se selecciona la cadena de carbonos más larga que contenga el grupo carboxilo. Esta cadena determinará el nombre base del ácido.
- Numeración de la cadena:** Se numera la cadena principal comenzando por el carbono del grupo carboxilo, que siempre será el número 1.
- Sufijo “-oico”:** El nombre del ácido carboxílico se forma añadiendo el sufijo “-oico” al nombre del alcano correspondiente. El nombre completo incluye la palabra “ácido” seguida del nombre del alcano con el sufijo “-oico”.
- Sustituyentes:** Cualquier grupo funcional o sustituyente en la cadena principal se nombra y se numera según su posición en la cadena. Los sustituyentes se listan en orden alfabético.

### 5.4.2. Ejemplos de nomenclatura de ácidos carboxílicos

Tabla 5.2 Ejemplos de nomenclatura de ácidos carboxílicos.

Nombre Común	Nombre IUPAC	Fórmula Molecular	Fórmula Semidesarrollada
Ácido Fórmico	Ácido Metanoico	HCOOH	H-COOH
Ácido Acético	Ácido Etanoico	CH <sub>3</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -COOH
Ácido Propiónico	Ácido Propanoico	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH
Ácido Butírico	Ácido Butanoico	C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -COOH
Ácido Valérico	Ácido Pentanoico	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> -COOH
Ácido Caproico	Ácido Hexanoico	C <sub>5</sub> H <sub>11</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -COOH
Ácido Láurico	Ácido Dodecanoico	C <sub>11</sub> H <sub>23</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> -COOH
Ácido Palmítico	Ácido Hexadecanoico	C <sub>15</sub> H <sub>31</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> -COOH
Ácido Esteárico	Ácido Octadecanoico	C <sub>17</sub> H <sub>35</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> -COOH
Ácido Oleico	Ácido Octadec-9-enoico	C <sub>17</sub> H <sub>33</sub> COOH	CH <sub>3</sub> -(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> -COOH

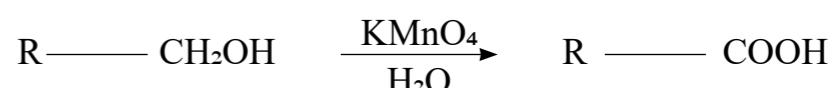
Estos ejemplos ilustran cómo se aplican las reglas de nomenclatura IUPAC para nombrar ácidos carboxílicos de manera sistemática y coherente. La nomenclatura correcta es esencial para la comunicación científica precisa y para evitar confusiones en la identificación y el uso de estos compuestos en la investigación y la industria.

## 5.5. Reacciones de obtención de ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos pueden ser sintetizados a través de una variedad de métodos químicos. A continuación, se describen algunas de las reacciones más comunes utilizadas para la obtención de ácidos carboxílicos:

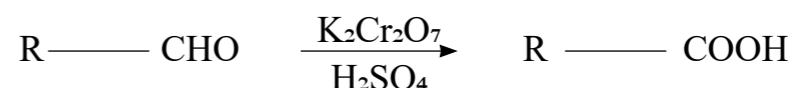
### 5.5.1. Oxidación de alcoholes primarios

La oxidación de alcoholes primarios es un método común para la síntesis de ácidos carboxílicos. Utilizando oxidantes fuertes como el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>) o el dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), los alcoholes primarios se oxidan primero a aldehídos y luego a ácidos carboxílicos.



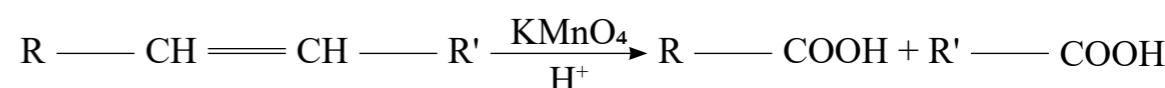
### 5.5.2. Oxidación de aldehídos

Los aldehídos pueden oxidarse a ácidos carboxílicos utilizando agentes oxidantes como el permanganato de potasio (KMnO<sub>4</sub>), el dicromato de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) o el ácido crómico (H<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>). Esta reacción es útil para la conversión directa de aldehídos a ácidos carboxílicos.



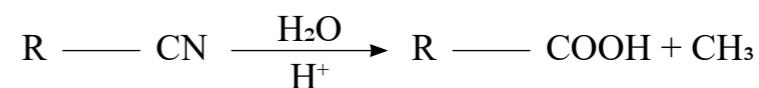
### 5.5.3. Oxidación de alquenos

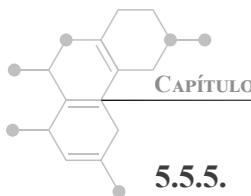
Los alquenos pueden ser oxidados a ácidos carboxílicos a través de una reacción con permanganato de potasio en condiciones ácidas o con ozono seguido de una hidrólisis. Este método implica la ruptura del doble enlace y la formación de dos moléculas de ácido carboxílico.



### 5.5.4. Hidrólisis de nitrilos

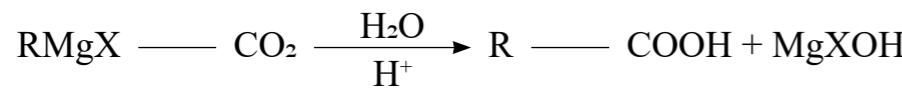
Los nitrilos pueden hidrolizarse a ácidos carboxílicos mediante tratamiento con ácidos o bases fuertes. Este proceso implica la adición de agua y la ruptura del enlace triple carbono-nitrógeno.





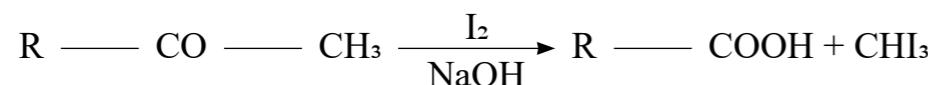
## 5.5.5. Carboxilación de reactivos de Grignard

Los reactivos de Grignard ( $\text{RMgX}$ ) pueden reaccionar con dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para formar ácidos carboxílicos. Esta reacción es útil para la síntesis de ácidos carboxílicos con estructuras específicas.



## 5.5.6. Oxidación de metilcetonas (reacción de haloformo)

La oxidación de metilcetonas utilizando halógenos en presencia de bases puede producir ácidos carboxílicos. Esta reacción es conocida como la reacción de haloformo y es específica para cetonas con un grupo metilo adyacente al grupo carbonilo.

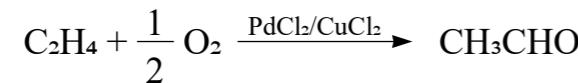


Estas reacciones son fundamentales para la síntesis de ácidos carboxílicos en la química orgánica. La comprensión de estos métodos es esencial para la aplicación práctica en la industria y la investigación científica, incluyendo la producción de aditivos alimentarios, productos farmacéuticos y materiales de uso en la agroindustria y las ciencias pecuarias.

## 5.6. Producción del ácido acético

El ácido acético puede sintetizarse a partir de eteno mediante un proceso de oxidación catalizada. En este proceso, el eteno se oxida en presencia de oxígeno y catalizadores como el paladio y el cloruro de cobre ( $\text{PdCl}_2/\text{CuCl}_2$ ), transformándose en acetaldehído, que luego se oxida nuevamente para obtener ácido acético. Esta reacción es relevante en la agroindustria, pues el ácido acético se emplea para sintetizar derivados como el acetato de etilo, utilizado como solvente en formulaciones agrícolas y pesticidas.

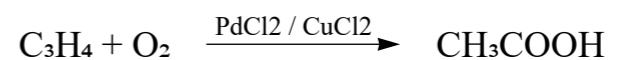
### 1. Oxidación de eteno a acetaldehído



### 2. Oxidación de acetaldehído a ácido acético



## Reacción global



**Aplicaciones:** Este proceso, conocido como **oxidación Wacker**, es relevante en la agroindustria debido a que el ácido acético se utiliza para producir derivados como el acetato de etilo ( $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$ ), un solvente común en formulaciones agrícolas y pesticidas.

## 5.7. Reacciones de los ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos son compuestos altamente versátiles que participan en una variedad de reacciones químicas debido a la presencia del grupo funcional carboxilo. A continuación, se describen algunas de las reacciones más importantes de los ácidos carboxílicos:

### 5.7.1. Esterificación

Los ácidos carboxílicos reaccionan con alcoholes en presencia de un ácido catalizador para formar ésteres y agua. Esta reacción, conocida como esterificación de Fischer, es una de las más comunes y se utiliza ampliamente en la producción de ésteres para fragancias, saborizantes y plásticos.



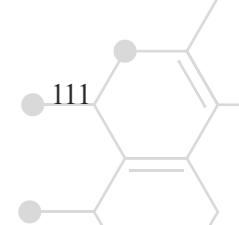
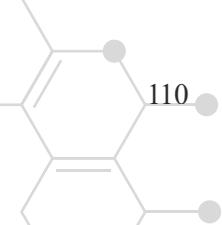
### 5.7.2. Formación de amidas

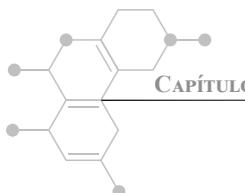
Los ácidos carboxílicos reaccionan con aminas para formar amidas y agua. Esta reacción es fundamental en la síntesis de péptidos y proteínas, donde los enlaces amida (enlaces peptídicos) son esenciales.



### 5.7.3. Reducción a alcoholes

Los ácidos carboxílicos pueden reducirse a alcoholes primarios mediante el uso de agentes reductores fuertes como el hidruro de litio y aluminio ( $\text{LiAlH}_4$ ). Esta reacción es importante en la síntesis de diversos compuestos orgánicos.





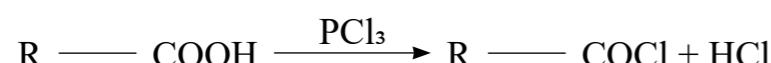
#### 5.7.4. Formación de anhídridos

Los ácidos carboxílicos pueden deshidratarse para formar anhídridos carboxílicos. Esta reacción se realiza generalmente en presencia de agentes deshidratantes como el pentóxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).



#### 5.7.5. Reacción con halogenuros de fósforo

Los ácidos carboxílicos reaccionan con halogenuros de fósforo, como el tricloruro de fósforo ( $\text{PCl}_3$ ), para formar halogenuros de acilo. Esta reacción es útil en la síntesis de cloruros de acilo, que son intermediarios en muchas reacciones orgánicas.



#### 5.7.6. Neutralización

Los ácidos carboxílicos reaccionan con bases para formar sales carboxilato y agua. Esta reacción es fundamental en la producción de sales de carboxilato que se utilizan en la formulación de detergentes y productos farmacéuticos.



Estas reacciones resaltan la versatilidad de los ácidos carboxílicos en la química orgánica y su importancia en la industria y la investigación científica. La capacidad de los ácidos carboxílicos para participar en una variedad de reacciones químicas los convierte en compuestos fundamentales para la síntesis de una amplia gama de productos en la agroindustria y las ciencias pecuarias.

### 5.8. Reacciones de los derivados de ácidos carboxílicos

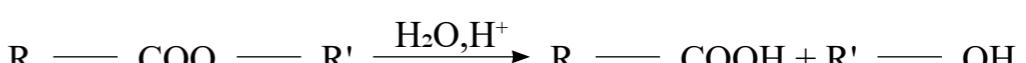
Los derivados de los ácidos carboxílicos, como los ésteres, amidas, anhídridos y cloruros de acilo, son reactivos versátiles que participan en una variedad de reacciones químicas impor-

tantes en la química orgánica. A continuación, se describen algunas de las reacciones más relevantes de estos compuestos:

#### 5.8.1. Reacciones de los ésteres

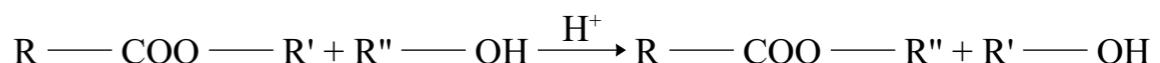
##### 5.8.1.1. Hidrólisis

Los ésteres pueden hidrolizarse en presencia de ácidos o bases para formar ácidos carboxílicos y alcoholes. La hidrólisis en medio ácido se llama hidrólisis ácida y la en medio básico se conoce como saponificación.



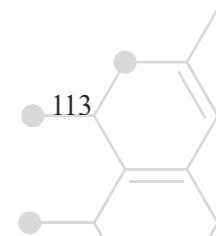
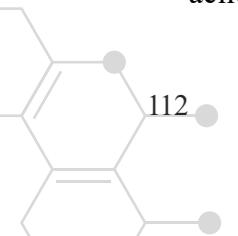
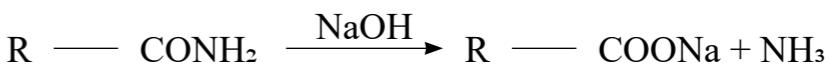
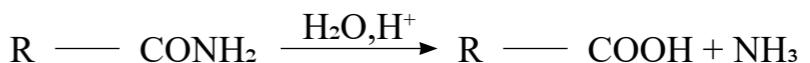
##### 5.8.1.2. Transesterificación

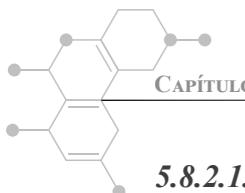
Los ésteres pueden reaccionar con alcoholes en presencia de un ácido o base para formar nuevos ésteres. Esta reacción se llama transesterificación y es útil para modificar estructuras de ésteres.



#### 5.8.2. Reacciones de las amidas

Las amidas son compuestos derivados de los ácidos carboxílicos en los cuales el grupo hidroxilo ( $-OH$ ) ha sido reemplazado por un grupo amino ( $-NH_2$  o sus derivados). Aunque son menos reactivas que otros derivados de ácidos carboxílicos, las amidas pueden participar en diversas reacciones químicas, especialmente bajo condiciones específicas que facilitan su transformación. Estas reacciones son de gran importancia en la química orgánica y en la síntesis de compuestos de interés industrial y biológico.



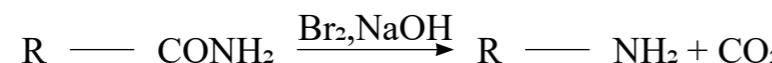


## 5.8.2.1. Hidrólisis

Las amidas pueden hidrolizarse en condiciones ácidas o básicas para formar ácidos carboxílicos y aminas o amoníaco.

## 5.8.2.2. Reacción de Hofmann

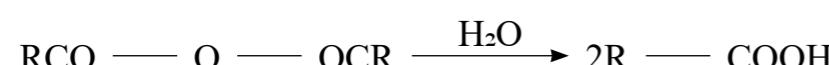
Las amidas primarias pueden reaccionar con hipohalitos en una reacción conocida como la degradación de Hofmann, produciendo una amina con un carbono menos que la amida original.



## 5.8.3. Reacciones de los anhídridos

### 5.8.3.1. Hidrólisis

Los anhídridos reaccionan con agua para formar dos moléculas de ácido carboxílico.



### 5.8.3.2. Reacción con alcoholes

Los anhídridos reaccionan con alcoholes para formar ésteres y ácidos carboxílicos



## 5.8.4. Reacciones de los cloruros de acilo

Los cloruros de acilo son compuestos altamente reactivos derivados de los ácidos carboxílicos y representan un grupo funcional clave en la química orgánica. Su reactividad se debe a la presencia del enlace entre el carbono del grupo acilo y el cloro, el cual es fácilmente susceptible a la sustitución nucleofílica. Esta propiedad permite que los cloruros de acilo reaccionen con diferentes tipos de compuestos, generando productos valiosos.

### 5.8.4.1. Hidrólisis

Los cloruros de acilo reaccionan violentamente con agua para formar ácidos carboxílicos y ácido clorhídrico.



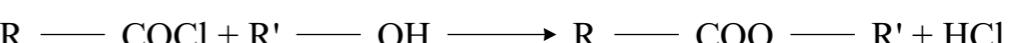
### 5.8.4.2. Reacción con aminas

Los cloruros de acilo reaccionan con aminas para formar amidas y ácido clorhídrico.



### 5.8.4.3. Reacción con alcoholes

Los cloruros de acilo reaccionan con alcoholes para formar ésteres y ácido clorhídrico.



Estas reacciones demuestran la versatilidad y reactividad de los derivados de ácidos carboxílicos en la química orgánica. Su capacidad para participar en diversas transformaciones químicas los hace esenciales en la síntesis de una amplia gama de compuestos útiles en la agroindustria y las ciencias pecuarias.

## 5.9. Ésteres en la agroindustria

Los ésteres son compuestos orgánicos que desempeñan un papel crucial en la agroindustria debido a sus diversas aplicaciones y propiedades químicas. Estos compuestos se forman mediante la reacción de ácidos carboxílicos con alcoholes y tienen la fórmula general  $R - COO - R'$ . A continuación, se describen algunas de las aplicaciones más importantes de los ésteres en la agroindustria.

### 5.9.1. Aplicaciones de los ésteres en la agroindustria

#### 5.9.1.1. Aditivos y mejoradores de alimentos

Los ésteres se utilizan ampliamente como aditivos y mejoradores de alimentos para animales. Suelen emplearse en la formulación de sabores y aromas que mejoran la palatabilidad de los piensos. Un ejemplo común es el acetato de etilo ( $C_4H_8O_2$ ), que aporta un aroma agradable a los alimentos, estimulando el apetito de los animales.

#### 5.9.1.2. Agentes emulsionantes

En la producción de alimentos para animales, los ésteres actúan como agentes emulsionantes, ayudando a estabilizar mezclas de agua y grasas. Los monoglicéridos y diglicéridos

de ácidos grasos son ejemplos de ésteres utilizados en esta capacidad. Estos compuestos facilitan la homogeneización de ingredientes en los piensos, asegurando una distribución uniforme de los nutrientes.

### 5.9.1.3. Plaguicidas y herbicidas

Los ésteres también se encuentran en la formulación de plaguicidas y herbicidas. Ésteres de ácidos grasos, como el éster metílico de ácido oleico ( $\text{CH}_3\text{-}(\text{CH}_2)_7\text{-CH=CH-}(\text{CH}_2)_7\text{-COO-CH}_3$ ), se utilizan en productos fitosanitarios debido a su capacidad para penetrar las cutículas de las plantas y mejorar la eficacia de los agentes activos. Estos ésteres ayudan a controlar plagas y malezas, protegiendo los cultivos y mejorando el rendimiento agrícola.

### 5.9.1.4. Solventes y agentes de extracción

En la agroindustria, los ésteres se emplean como solventes y agentes de extracción para la obtención de aceites esenciales y otros compuestos valiosos de las plantas. El acetato de etilo y el acetato de isopropilo son ejemplos de ésteres utilizados en estos procesos debido a su eficacia para disolver una amplia gama de sustancias orgánicas.

### 5.9.1.5. Biocombustibles

Los ésteres de ácidos grasos, como los ésteres metílicos y etílicos, son componentes clave de los biocombustibles. Los biodíseles se producen mediante la transesterificación de aceites vegetales o grasas animales con metanol o etanol. Estos biocombustibles son una alternativa sostenible a los combustibles fósiles, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

Tabla 5.2 Propiedades fisicoquímicas de algunos ésteres comunes.

Éster	Fórmula	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)
Acetato de etilo		-83.6	77.1
Acetato de isopropilo		-73.5	88.5
Éster metílico de ácido oleico		-20.0	191.0

Lactato de etilo		-26.5	154.0
------------------	--	-------	-------

## 5.10 Ácidos carboxílicos de cadena media en nutrición animal

Los ácidos carboxílicos de cadena media (MCFA, por sus siglas en inglés), particularmente el ácido caprílico (C8:0), ácido cáprico (C10:0) y ácido láurico (C12:0), han emergido como alternativas naturales a los antibióticos promotores del crecimiento (23). Estos compuestos han demostrado una potente actividad antimicrobiana contra patógenos entéricos relevantes, incluyendo *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli* y *Clostridium perfringens*, actuando mediante la desestabilización de la membrana celular bacteriana y la alteración del pH intracelular. Los estudios han documentado que la suplementación con MCFA en concentraciones específicas en la dieta reduce significativamente la colonización por patógenos y mejora la integridad de la barrera intestinal.

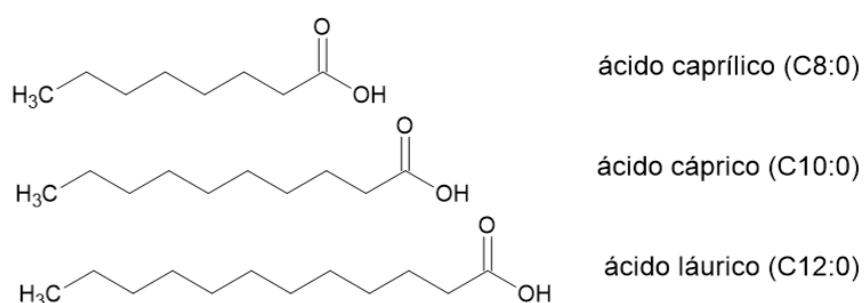


Figura 5.4 Estructura química de los ácidos caprílico, cáprico y láurico.

Los estudios de Suiryanrayna & Ramana (2015), publicados en “*Journal of Animal Science and Biotechnology*” (24), han demostrado que la implementación estratégica de estos ácidos carboxílicos en la producción animal no solo mejora los parámetros productivos, sino que también modifica beneficiosamente el microbioma intestinal. Los análisis revelaron un aumento significativo en la abundancia relativa de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, junto con una reducción en la población de patógenos oportunistas. Además, se observaron mejoras significativas en la morfología intestinal, con aumentos en la altura de las vellosidades y reducciones en la profundidad de las criptas, indicadores clave de una mejor capacidad de absorción de nutrientes.

De acuerdo con la revisión exhaustiva de Liu (2015), la implementación de MCFA en sistemas de producción animal intensiva representa una inversión económicamente viable (25). Los beneficios se derivan de múltiples factores: reducción en el uso de antibióticos, menor mortalidad, mejora en los índices productivos y la posibilidad de acceder a mercados premium de productos libres de antibióticos. Adicionalmente, el autor destaca que los MCFA, al ser compuestos naturales biodegradables, contribuyen significativamente a la sostenibilidad ambiental de la producción animal, ofreciendo una alternativa más ecológica a los sistemas convencionales basados en antibióticos.

## CAPÍTULO VI

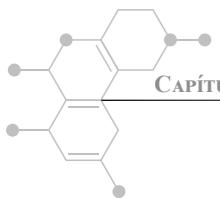
### 6. Compuestos nitrogenados

#### 6.1. Introducción

Los compuestos nitrogenados son una clase crucial de compuestos orgánicos que contienen átomos de nitrógeno en su estructura. Estos compuestos incluyen aminas, amidas, nitrilos, amino ácidos y amonios. En la (Figura 6.1) se representan los principales grupos funcionales nitrogenados mediante estructuras semidesarrolladas y estructuras de bolas y varillas. Los aminoácidos, que son los bloques constructores de las proteínas. En el contexto de las ciencias pecuarias y la agroindustria, los compuestos nitrogenados desempeñan roles vitales en la biología y fisiología de los animales, así como en diversas aplicaciones industriales.

En las ciencias pecuarias, los compuestos nitrogenados son esenciales para la nutrición y el crecimiento de los animales. Los aminoácidos, por ejemplo, son componentes fundamentales de las proteínas, y su adecuado balance en la dieta es crucial para el desarrollo óptimo de los animales. Además, otros compuestos nitrogenados actúan como reguladores hormonales, neurotransmisores y componentes de defensa en algunas especies, contribuyendo significativamente a la salud y el bienestar animal.

En la agroindustria, los compuestos nitrogenados tienen múltiples aplicaciones, desde la producción de fertilizantes hasta la síntesis de productos químicos especializados. Los fertilizantes nitrogenados, como la urea, son esenciales para el crecimiento de los cultivos, mejorando la productividad agrícola y asegurando un suministro adecuado de alimentos tanto para consumo humano como animal.



## COMPUESTOS NITROGENADOS

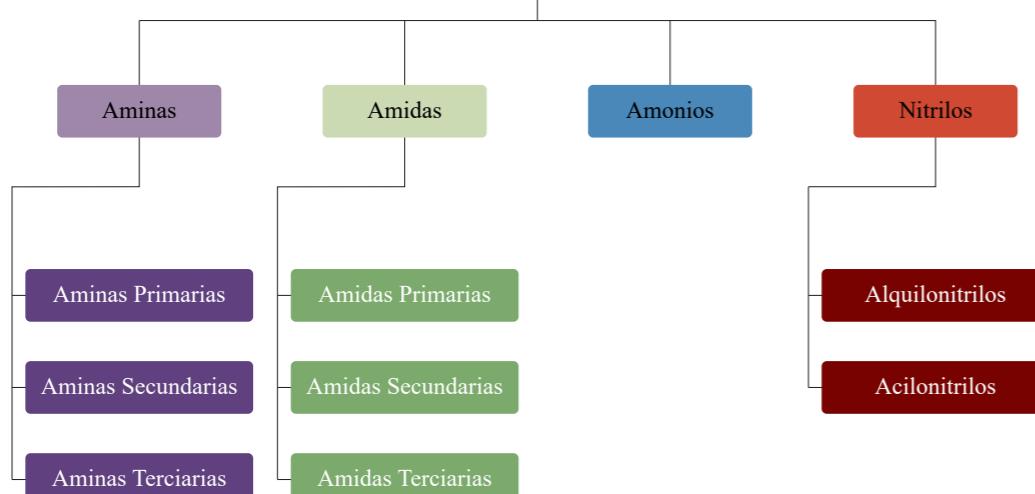


Figura 6.1 Clasificación de compuestos nitrogenados.

La diversidad y versatilidad de los compuestos nitrogenados también se reflejan en sus aplicaciones biotecnológicas. Un ejemplo notable es la producción de seda por parte de arañas y gusanos de seda, que es una proteína compleja formada por aminoácidos. La resistencia y flexibilidad de la seda han sido aprovechadas en la producción de textiles y otros materiales innovadores.

A lo largo de este capítulo, exploraremos en detalle la estructura, propiedades y reacciones de los compuestos nitrogenados, con un enfoque en su relevancia para las ciencias pecuarias y la agroindustria. Analizaremos cómo estos compuestos influyen en la nutrición animal, el desarrollo de productos veterinarios y las prácticas agrícolas sostenibles, destacando su importancia en la intersección de la química, la biología y la producción animal.

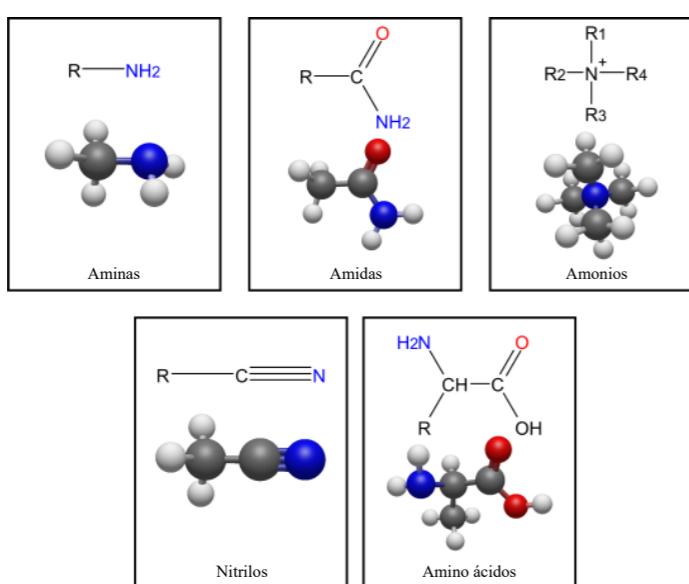


Figura 6.2 Grupos funcionales de los compuestos nitrogenados.

## 6.2. Propiedades fisicoquímicas

Los compuestos nitrogenados, que incluyen aminas, amidas, nitrilos, aminoácidos y amonios orgánicos, presentan una amplia gama de propiedades fisicoquímicas que determinan su reactividad y aplicaciones. A continuación, se describen algunas de las propiedades más relevantes de estos compuestos.

### 6.2.1. Aminas

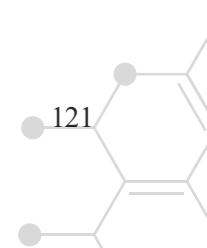
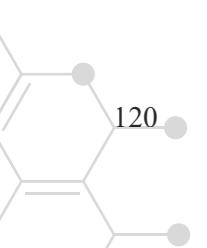
- **Punto de fusión y ebullición:** Las aminas tienen puntos de fusión y ebullición más bajos que los alcoholes y ácidos carboxílicos debido a la menor capacidad para formar puentes de hidrógeno. Sin embargo, las aminas primarias y secundarias pueden formar puentes de hidrógeno, lo que eleva sus puntos de ebullición en comparación con las aminas terciarias.
- **Solubilidad:** Las aminas de bajo peso molecular son solubles en agua debido a la formación de puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. A medida que aumenta el tamaño de la cadena carbonada, la solubilidad en agua disminuye.
- **Basicidad:** Las aminas son compuestos básicos y pueden aceptar protones para formar sales de amonio. La basicidad de las aminas está influenciada por la naturaleza de los grupos alquilo unidos al nitrógeno.

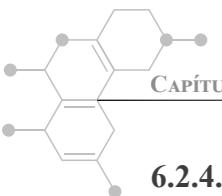
### 6.2.2. Amidas

- **Punto de fusión y ebullición:** Las amidas tienen puntos de fusión y ebullición elevados debido a la capacidad de formar múltiples puentes de hidrógeno, especialmente en el caso de las amidas primarias y secundarias.
- **Solubilidad:** Las amidas son generalmente solubles en agua y en muchos solventes orgánicos debido a la formación de puentes de hidrógeno.
- **Polaridad:** Las amidas son compuestos polares, lo que contribuye a su alta solubilidad en agua y a su comportamiento en reacciones químicas.

### 6.2.3. Nitrilos

- **Punto de fusión y ebullición:** Los nitrilos tienen puntos de fusión y ebullición relativamente altos debido a la presencia del triple enlace carbono-nitrógeno ( $R-C\equiv N$ ).
- **Solubilidad:** Los nitrilos de bajo peso molecular son solubles en agua, pero la solubilidad disminuye con el aumento de la cadena carbonada.
- **Polaridad:** Los nitrilos son compuestos polares y presentan una alta reactividad debido a la polaridad del triple enlace.





#### 6.2.4. Aminoácidos

- Punto de fusión y ebullición:** Los aminoácidos tienen puntos de fusión elevados y se descomponen antes de alcanzar sus puntos de ebullición. Esto se debe a la formación de enlaces iónicos en estado sólido.
- Solubilidad:** Los aminoácidos son generalmente solubles en agua debido a su naturaleza zwitteriónica, lo que les permite disolverse y actuar como iones en solución.
- Polaridad:** Los aminoácidos son altamente polares y presentan diferentes propiedades ácido-base dependiendo del pH de la solución.

#### 6.2.5. Amonios orgánicos

- Punto de fusión y ebullición:** Los compuestos de amonio cuaternario tienen puntos de fusión y ebullición más altos debido a su estructura iónica.
- Solubilidad:** Los amonios orgánicos son solubles en agua debido a su naturaleza iónica, lo que les permite formar enlaces iónicos fuertes con el agua.
- Polaridad:** Los compuestos de amonio cuaternario son altamente polares y suelen ser utilizados como agentes tensioactivos y desinfectantes.

Tabla 6.1 Fisicoquímicas de algunos compuestos nitrogenados.

Compuesto	Fórmula	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)	Densidad (g/mL)
Metilamina	CH <sub>3</sub> -NH <sub>2</sub>	-93.5	-6.3	0.699
Dimetilamina	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -NH	-92.2	7.4	0.680
Etilamina	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -NH <sub>2</sub>	-81	16.6	0.693
Urea	H <sub>2</sub> N-CO-NH <sub>2</sub>	132.7	Descompone	1.323
Acetonitrilo	CH <sub>3</sub> -C≡N	-45	81.6	0.786
Acetamida	CH <sub>3</sub> -CONH <sub>2</sub>	82.3	222	1.159
Anilina	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -NH <sub>2</sub>	-6.3	184.1	1.021
Glutamina	H <sub>2</sub> N-CO-(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> -CH(NH <sub>2</sub> )-COOH	185	Descompone	1.469
Fenilalanina	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH <sub>2</sub> -CH(NH <sub>2</sub> )-COOH	280	Descompone	1.29
Cloruro de Tetrabutilamonio	N(C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> ) <sub>4</sub> <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup>	241	330 (descompone)	0.893

Estas propiedades fisicoquímicas son fundamentales para entender el comportamiento y las aplicaciones de los compuestos nitrogenados en las ciencias pecuarias y la agroindustria, donde juegan roles esenciales en la nutrición, salud y producción animal.

#### 6.3. Nomenclatura

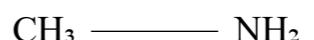
La nomenclatura de compuestos nitrogenados sigue las reglas establecidas por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). A continuación, se describen las reglas

básicas para nombrar las principales clases de compuestos nitrogenados: aminas, amidas, nitrilos y aminoácidos.

##### 6.3.1. Aminas

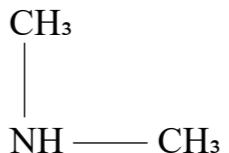
Las aminas se nombran de acuerdo con la longitud de la cadena de carbono a la que está unido el grupo amino (-NH<sub>2</sub>), seguido del sufijo “-amina”. En aminas secundarias y terciarias, los grupos alquilo o arilo se nombran como sustituyentes.

- Amina primaria:**



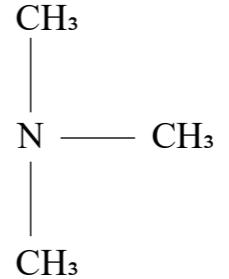
se nombra metilamina.

- Amina secundaria:**



se nombra dimetilamina.

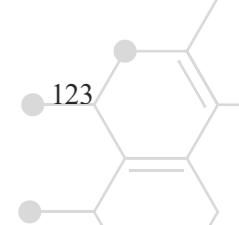
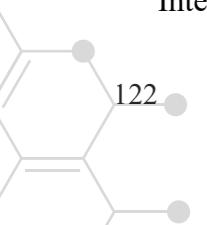
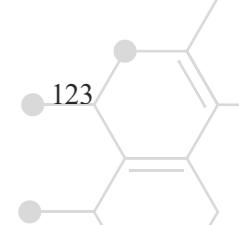
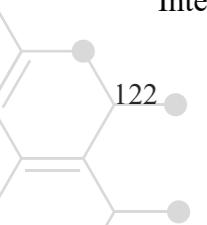
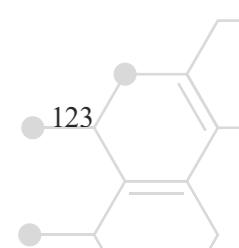
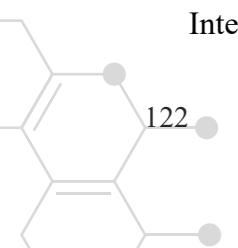
- Amina terciaria:**

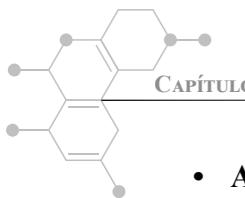


se nombra trimetilamina.

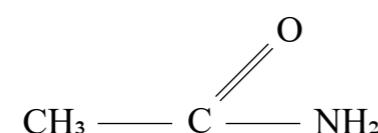
##### 6.3.2. Amidas

Las amidas se nombran utilizando el nombre del ácido carboxílico correspondiente, reemplazando el sufijo “-oico” por “-amida”. Para las amidas sustituidas, los sustituyentes en el nitrógeno se indican con el prefijo “N-” seguido del nombre del sustituyente.



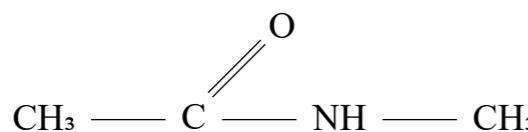


- **Amida primaria:**



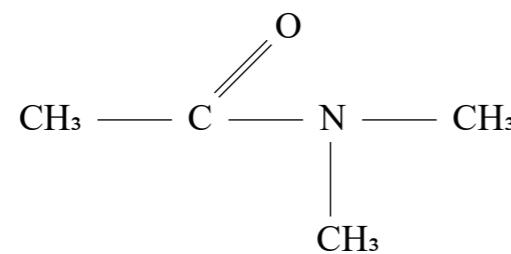
se nombra etanamida (acetamida).

- **Amida secundaria:**



se nombra N-metiletanamida.

- **Amida terciaria:**

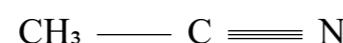


se nombra N, N-dimiletanamida.

### 6.3.3. Nitrilos

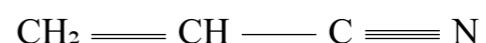
Los nitrilos se nombran tomando el nombre del alcano correspondiente y añadiendo el sufijo “-nitrilo”. Si el nitrilo es el grupo principal, se utiliza el prefijo “ciano-”.

- **Nitrilo:**



se nombra etanonitrilo (acetonitrilo).

- **Nitrilo con sustituyentes:**

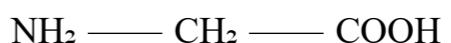


se nombra 2-propenonitrilo (acrilonitrilo).

### 6.3.4. Aminoácidos

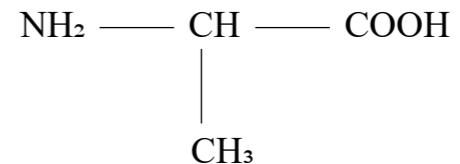
Los aminoácidos se nombran utilizando tanto la nomenclatura común como la IUPAC. Los nombres comunes son ampliamente aceptados debido a su uso extendido en bioquímica. En la nomenclatura IUPAC, se considera la cadena principal que contiene el grupo carboxilo (-COOH) y el grupo amino (-NH<sub>2</sub>).

- **Glicina:**



se nombra ácido 2-aminoetanoico.

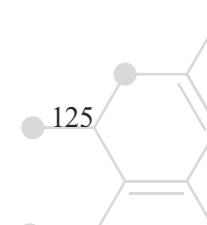
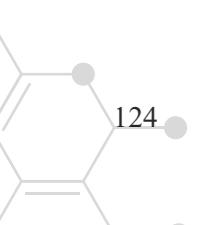
- **Alanina:**

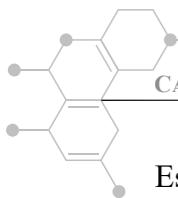


se nombra ácido 2-aminopropanoico.

Tabla 6.2 Ejemplos de nomenclatura de compuestos nitrogenados.

Compuesto	Nomenclatura Común	Nomenclatura IUPAC
CH <sub>3</sub> -NH <sub>2</sub>	Metilamina	Metanamina
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> -NH	Dimetilamina	N, N-Dimetanamina
CH <sub>3</sub> -CONH <sub>2</sub>	Acetamida	Etanamida
CH <sub>3</sub> -CONH-CH <sub>3</sub>	N-Metilacetamida	N-Metiletanamida
CH <sub>3</sub> -C≡N	Acetonitrilo	Etanonitrilo
NH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -COOH	Glicina	Ácido 2-aminoetanoico
NH <sub>2</sub> -CH(CH <sub>3</sub> )-COOH	Alanina	Ácido 2-aminopropanoico





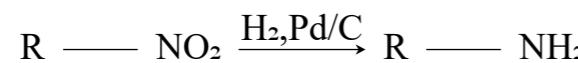
Estas reglas de nomenclatura son fundamentales para la correcta identificación y clasificación de los compuestos nitrogenados, permitiendo una comunicación efectiva en la comunidad científica y en aplicaciones prácticas en las ciencias pecuarias y la agroindustria.

#### 6.4. Métodos de obtención

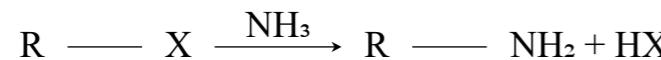
Los compuestos nitrogenados pueden obtenerse a través de diversas reacciones químicas que incorporan el nitrógeno en las moléculas orgánicas. A continuación, se describen los principales métodos de obtención de aminas, amidas, nitrilos y aminoácidos.

##### 6.4.1. Obtención de aminas

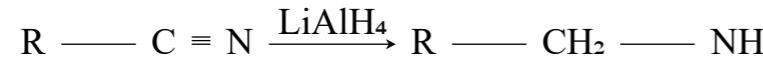
- **Reducción de nitrocompuestos:** Las aminas se pueden obtener reduciendo nitrocompuestos ( $R - NO_2$ ) utilizando hidrógeno en presencia de un catalizador metálico como el paladio sobre carbón (Pd/C) o por hidrogenación catalítica.



- **Reacción de haloalcanos con amoníaco:** Las aminas primarias se pueden obtener reaccionando haloalcanos con amoníaco.

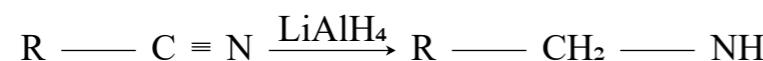


- **Reducción de nitrilos:** Los nitrilos pueden reducirse a aminas utilizando un agente reductor como el hidruro de litio y aluminio.

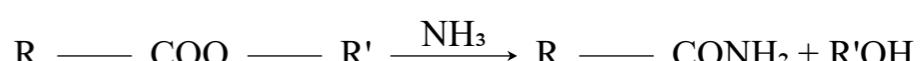


##### 6.4.2. Obtención de amidas

- **Reacción de ácidos carboxílicos con amoníaco:** Las amidas pueden obtenerse reaccionando ácidos carboxílicos con amoníaco o aminas.

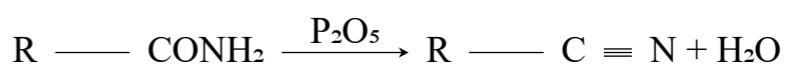


- **Reacción de Ésteres con Amoníaco:** Los ésteres pueden reaccionar con amoníaco para formar amidas.

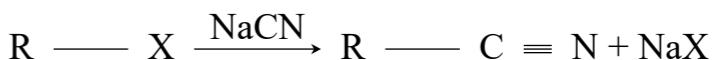


##### 6.4.3. Obtención de nitrilos

- **Deshidratación de amidas:** Los nitrilos pueden obtenerse deshidratando amidas utilizando agentes deshidratantes como el pentóxido de fósforo.



- **Reacción de haloalcanos con cianuro de sodio:** Los nitrilos pueden formarse mediante la reacción de haloalcanos con cianuro de sodio.



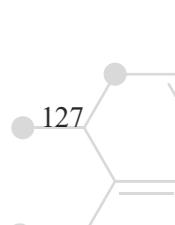
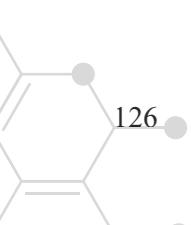
##### 6.4.4. Obtención de aminoácidos

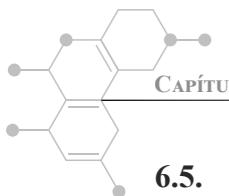
- **Síntesis de Strecker:** Los aminoácidos se pueden sintetizar mediante la reacción de un aldehído con cianuro de amonio y agua.



- **Biosíntesis:** En la naturaleza, los aminoácidos se sintetizan a través de rutas metabólicas complejas en los organismos vivos.

Estos métodos de obtención son fundamentales para la síntesis de compuestos nitrogenados en la química orgánica, y su comprensión es esencial para aplicaciones prácticas en la agroindustria y las ciencias pecuarias.



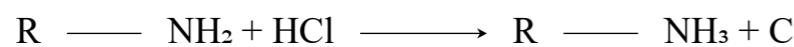


## 6.5. Reacciones de compuestos nitrogenados

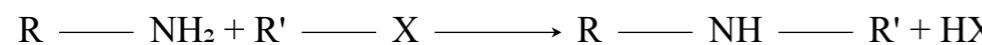
Los compuestos nitrogenados, como las aminas, amidas, nitrilos y aminoácidos, participan en una variedad de reacciones químicas debido a la presencia de átomos de nitrógeno. A continuación, se describen algunas de las principales reacciones de estos compuestos.

### 6.5.1. Reacciones de aminas

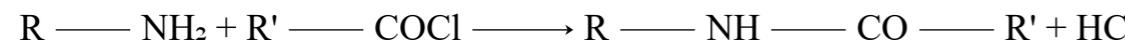
- Reacción con ácidos:** Las aminas reaccionan con ácidos para formar sales de amonio.



- Alquilación:** Las aminas pueden reaccionar con haloalcanos para formar alquilaminas.



- Acilación:** Las aminas reaccionan con anhídridos de ácidos o cloruros de acilo para formar amidas.

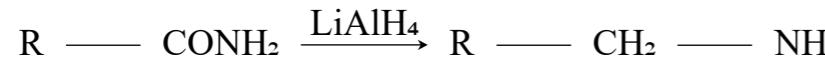


### 6.5.2. Reacciones de amidas

- Hidrólisis ácida y básica:** Las amidas pueden hidrolizarse en presencia de ácidos o bases fuertes para formar ácidos carboxílicos y aminas o amoníaco.



- Reducción:** Las amidas pueden reducirse a aminas utilizando un agente reductor como el hidruro de litio y aluminio.

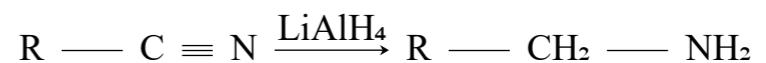


### 6.5.3. Reacciones de nitrilos

- Hidrólisis:** Los nitrilos pueden hidrolizarse para formar amidas y ácidos carboxílicos.



- Reducción:** Los nitrilos pueden reducirse a aminas utilizando agentes reductores como o en presencia de un catalizador.



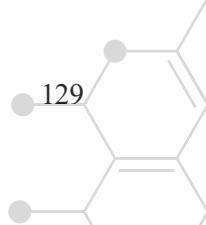
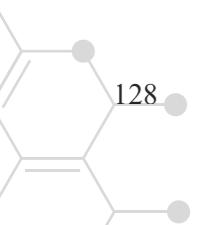
Estas reacciones son fundamentales para la química de los compuestos nitrogenados y tienen aplicaciones significativas en la agroindustria y las ciencias pecuarias, incluyendo la síntesis de medicamentos, la formulación de suplementos alimenticios y el desarrollo de materiales biomédicos.

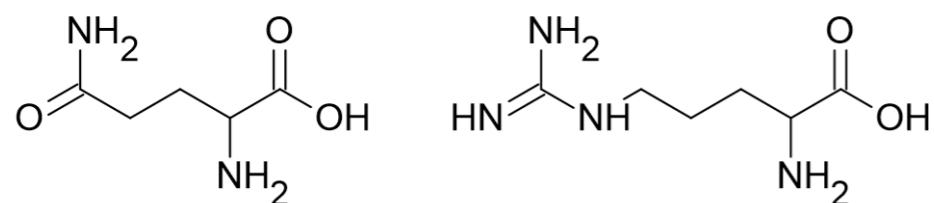
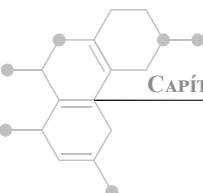
## 6.6. Compuestos nitrogenados en la agroindustria y en las ciencias pecuarias

Los compuestos nitrogenados, debido a sus diversas propiedades y funciones, tienen amplias aplicaciones en la agroindustria y las ciencias pecuarias. Estos compuestos son esenciales para la nutrición, la salud animal y diversas aplicaciones biotecnológicas.

### 6.6.1. Aminoácidos funcionales en producción animal: glutamina y arginina

Los aminoácidos funcionales, particularmente la glutamina ( $C_5H_{10}N_2O_3$ ) y la arginina ( $C_6H_{14}N_4O_2$ ), han emergido como componentes cruciales en la nutrición animal moderna, según las investigaciones publicadas por Wu et al. (2014) en "Amino Acids" (26). Estos compuestos nitrogenados trascienden su rol tradicional como bloques constructores de proteínas, actuando como moléculas bioactivas que regulan vías metabólicas críticas. Los estudios han demostrado que la suplementación con glutamina (0.8-1.2% de la dieta) en lechones destetados reduce significativamente la atrofia intestinal, aumenta la expresión de proteínas de unión estrecha y mejora la integridad de la barrera intestinal, resultando en una disminución sustancial en la incidencia de diarrea post-destete.





Glutamina

Arginina

Figura 6.3 Estructuras químicas de la glutamina y arginina.

Yin et al. (2020), en su investigación publicada en “*Journal of Animal Science and Biotechnology*” (27), demostraron que la suplementación con estos aminoácidos funcionales durante períodos de estrés (destete, transporte, vacunación) mejora significativamente la función inmune y el rendimiento productivo. Los datos experimentales revelaron un aumento en la proliferación de linfocitos, una mejora en la producción de inmunoglobulinas y un incremento en la ganancia diaria de peso. Particularmente notable fue el efecto sobre la salud intestinal, donde se observó un aumento significativo en la altura de las vellosidades intestinales y una reducción en marcadores inflamatorios sistémicos.

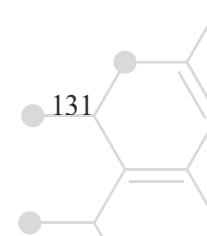
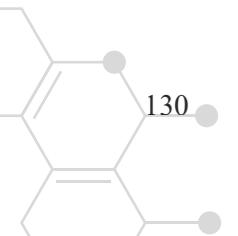
Según el análisis integral presentado por Li et al. (2021) en “*Annual Review of Animal Biosciences*” (28), el uso estratégico de aminoácidos funcionales en la producción animal moderna representa una intervención nutricional efectiva para mejorar la salud y el rendimiento animal. Los autores documentaron mejoras significativas en la eficiencia alimenticia, reducción en el uso de antibióticos y disminución en la mortalidad, especialmente en sistemas de producción intensiva. Además, estos compuestos han demostrado ser particularmente valiosos en sistemas de producción libre de antibióticos, donde su uso estratégico permite mantener altos niveles de productividad mientras se promueve la salud intestinal y la función inmune.

#### 6.6.2. Fertilizantes y suelo

Los compuestos nitrogenados, como las amidas y los nitratos, son componentes esenciales de los fertilizantes. Estos fertilizantes mejoran la calidad del suelo y promueven el crecimiento de las plantas, lo cual es fundamental para la producción de forrajes y otros cultivos utilizados en la alimentación animal.

- **Urea:** La urea es un fertilizante nitrogenado ampliamente utilizado debido a su alta concentración de nitrógeno y su costo relativamente bajo. Es esencial para promover el crecimiento de pastos y cultivos forrajeros.
- **Nitratos y amoníaco:** Estos compuestos se aplican al suelo para mejorar su contenido de nitrógeno, esencial para el crecimiento de plantas. La nitrificación y la fijación de nitrógeno son procesos clave que involucran compuestos nitrogenados y son fundamentales para la sostenibilidad agrícola.

Por todas las razones expresadas en los apartados anteriores, Se puede concluir que los compuestos nitrogenados tienen aplicaciones amplias y variadas en la agroindustria y las ciencias pecuarias. Desde la nutrición y salud animal hasta las aplicaciones biotecnológicas y la mejora de suelos, estos compuestos son esenciales para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la producción animal y agrícola.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wade LG Jr. *Química orgánica. 5<sup>a</sup> ed. Pearson Educación*; 2004. 1248 p.
2. Vaz S, editor. *Sustainable Agrochemistry: A Compendium of Technologies [Internet]*. Cham: Springer International Publishing; 2019 [citado 24 de noviembre de 2024]. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-17891-8>
3. Hansch C, Fujita T, editores. *Classical and Three-Dimensional QSAR in Agrochemistry. 1<sup>st</sup> ed. Washington, DC: American Chemical Society*; 1995. 354 p.
4. Engelking L. *Textbook of Veterinary Physiological Chemistry [Internet]*. 2014 [citado 24 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/textbook-of-veterinary-physiological-chemistry/engelking/978-0-12-391909-0>
5. Thrall MA, Weiser G, Ph. D. Allison RW, Ph. D. Campbell TW, editores. *Veterinary Hematology and Clinical Chemistry*. 2<sup>nd</sup> ed. Ames, Iowa: Blackwell Pub; 2012. 762 p.
6. Deguine JP. *Crop Protection: From Agrochemistry to Agroecology*. 1<sup>st</sup> ed. CRC Press; 2009. 216 p.
7. Chemistry LibreTexts [Internet]. 2018 [citado 24 de noviembre de 2024]. *Organic Chemistry with a Biological Emphasis (Soderberg)*. Disponible en: [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic\\_Chemistry/Book%3A\\_Organic\\_Chemistry\\_with\\_a\\_Biological\\_EmpHASis\\_v2.0\\_\(Soderberg\)7](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Book%3A_Organic_Chemistry_with_a_Biological_EmpHASis_v2.0_(Soderberg)7).
8. McMurry JE. *Organic Chemistry*. 8<sup>th</sup> ed. Belmont, CA: Cengage Learning; 2011. 1376 p.
9. ThoughtCo [Internet]. [citado 24 de noviembre de 2024]. *The 5 Main Branches of Chemistry and What Each Involves*. Disponible en: <https://www.thoughtco.com/the-5-branches-of-chemistry-603911>
10. Ding S, Long R. *The use of n-alkanes to estimate dietary botanical composition in grazing animals: principles and applications*. *Grass Forage Sci*. 2010;65(2):185-97.

11. Oliveira MV, Paulino MF, Fernandes HJ, Costa MG, Barros LV. Use of n-alkanes to estimate the composition of cattle diets on pasture. *Rev Bras Zootec.* 2011;40(10):2211-20.
12. **Giráldez F.** *Estudio de los alcanos sintéticos de cadena par como marcadores para estimar el ritmo de paso de los alimentos* [Internet]. 1997 [citado 24 de noviembre de 2024]. Disponible en: [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/1997/comunicaciones/1997\\_NyA\\_02.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/jornadas/1997/comunicaciones/1997_NyA_02.pdf)
13. Witzgall P, Kirsch P, Cork A. Sex pheromones and their impact on pest management. *J Chem Ecol.* 2010;36(1):80-100.
14. Wyatt TD. Fifty years of pheromones. *Nature.* enero de 2009;457(7227):262-3.
15. Reichardt C, Welton T. *Solvents and solvent effects in organic chemistry.* 4<sup>a</sup> ed. Wiley-VCH; 2011.
16. Anslyn EV, Dougherty DA. *Modern physical organic chemistry.* University Science Books; 2010.
17. Burt SA, Vlielander R, Haagsman HP, Veldhuizen EJA. Essential oils and their bioactive compounds in the control of pathogenic bacteria in animal feed. *Front Vet Sci.* 2019;6:288.
18. Zeng Z, Zhang S, Wang H, Piao X. Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review. *J Anim Sci Biotechnol.* 2015;6(1):7.
19. Lillehoj H, Liu Y, Calsamiglia S, Fernandez-Miyakawa ME, Chi F. Phytochemicals as antibiotic alternatives to promote growth and enhance host health. *Anim Health Res Rev.* 2018;19(1):49-65.
20. Stevanović ZD, Bošnjak-Neumuller J, Pajić M. Therapeutic applications of terpene alcohols in veterinary respiratory medicine: Clinical outcomes and mechanisms of action. *Vet Res.* 2023;54(2):45-58.
21. Chen X, Wang Y, Zhang K. Dietary supplementation with terpene alcohols improves gut health and performance in broiler chickens: A mechanistic study. *Anim Feed Sci Technol.* 2022;284:115188.
22. Thompson RJ, Anderson KL. *Natural solutions in animal health: Applications and economic impact.* London: Academic Press; 2024.
23. Hanczakowska E. The use of medium-chain fatty acids in piglet feeding – a review. *Ann Anim Sci.* 2017;17(4):967-77.
24. Suiryanrayna M, Ramana J. A review of the effects of dietary organic acids fed to swine. *J Anim Sci Biotechnol.* 2015;6(1):45.
25. Liu Y. Fatty acids, inflammation, and intestinal health in pigs. *J Anim Sci Biotechnol.* 2015;6(1):41.
26. Wu G, Wu Z, Dai Z, Yang Y, Wang W, Liu C, et al. Dietary requirements of “nutritionally non-essential amino acids” by animals and humans. *Amino Acids.* 2014;44(4):1107-13.
27. Yin J, Li F, Kong X, Wen C, Guo Q, Zhang W, et al. Dietary xylo-oligosaccharide improves intestinal functions in weaned piglets. *J Anim Sci Biotechnol.* 2020;11(1):28.
28. Li P, Wu G. Roles of dietary glycine, proline, and hydroxyproline in collagen synthesis and animal growth. *Annu Rev Anim Biosci.* 2021;9:349-73.
29. Navarro JR, García Muñoz E, Osuna Sánchez A. Efecto de los isómeros en la práctica clínica. *Actas Peruanas de Anestesiología.* 2012;20(1):27-30.



El libro "Química Orgánica: Una Perspectiva para Ciencias Pecuarias", elaborado por Brito G., Bravo W., y Bonilla M., presenta una visión integral de la química orgánica aplicada a las ciencias pecuarias, con énfasis en la agroindustria y la medicina veterinaria. A través de seis capítulos, el texto aborda desde conceptos fundamentales de estructura molecular, nomenclatura y reactividad química, hasta aplicaciones específicas como la formulación de fármacos, suplementos alimenticios y productos sanitarios para la producción animal. También explora la relevancia de la química orgánica en procesos biológicos esenciales como la digestión y el metabolismo, destacando su impacto en la eficiencia productiva y el bienestar animal. El libro incluye ejemplos prácticos y problemas resueltos, lo que facilita la comprensión y aplicación de conceptos complejos. Esta obra constituye un recurso académico y profesional valioso, alineado con programas en zootecnia, agroindustria y medicina veterinaria.

**Guido Brito Gonzalo Zúñiga:** Ecuatoriano, Doctor en Química con especialización en Química Orgánica y Bioquímica (ESPOCH, 1987). Posee una Maestría en Protección Ambiental (ESPOCH, 2018) y un Diplomado en Tecnologías de la Información aplicadas a la docencia. Ha sido docente en instituciones como el Colegio Santo Tomás Apóstol y la ESPOCH desde 1990. Fue Director del Departamento de Química de la ESPOCH en 2002 y autor del libro Química Inorgánica (Editorial CIDE, 2022). Participante activo en congresos y talleres, su experiencia y publicaciones científicas lo destacan como un referente académico en química y protección ambiental.

**Marina Leonor Bonilla Lucero:** Ecuatoriana nacida en Quito en 1963 y residente en Riobamba, es Doctora en Química con especialización en Orgánico-Bioquímica (ESPOCH, 1990), Máster en Protección Ambiental (2005) y Magíster en Educación Sexual (UNACH, 2012). Ha desarrollado su carrera como docente-investigadora en la ESPOCH, destacándose en los campos de Química y Medio Ambiente. Fue coordinadora de la Comisión de Evaluación y Aseguramiento de la Calidad y docente en el Sistema Nacional de Nivelación y Admisión. Ha publicado artículos en revistas indexadas y colabora como investigadora externa del Grupo CIDE, reafirmando su compromiso con el avance científico y académico.

**Wilian Marcelo Bravo Morocho:** Más de 12 años de experiencia docente en la ESPOCH y otras instituciones de educación superior. Es Doctor en Química, Máster en Ciencia y Tecnología Química (UNED, España) y Magíster en Seguridad Industrial, con certificación en e-learning por FATLA. Especialista en química cuántica computacional y modelado molecular, ha liderado proyectos nacionales con GETNano y publicado artículos en bases como Scopus. Ha sido docente en Ciencias Químicas y Medicina Veterinaria de la ESPOCH, además de miembro del Comité de Evaluación Interna en 2024. Su trayectoria lo posiciona como referente en química aplicada.



ISBN: 978-9942-7337-1-9



9 789942 733719