

## UNIDAD 13. EL ÁTOMO DE CARBONO

### ¿De qué están hechos los compuestos orgánicos?

**Desempeño Esperado.** El estudiante reconoce la estructura y propiedades generales del átomo de carbono, clasifica carbonos, cadenas e hidrocarburos.

#### 1. INTRODUCCIÓN

Hasta la mitad del siglo XIX, la química orgánica se ha limitado al estudio de los compuestos obtenidos de los tejidos vegetales y animales. Se atribuía a la fuerza vital el privilegio de poder realizar la síntesis orgánica. No obstante en 1828 Wholer obtuvo la urea a partir del cianato potásico y del sulfato amónico, sustancias inorgánicas en ambos casos. Hubo que esperar hasta 1856 para que Berthelot rompiera definitivamente con el dogma de la fuerza vital, logrando la síntesis completa de numerosas sustancias orgánicas tales como alcoholes, benceno, etc.

Posteriormente estas síntesis se han multiplicado con tal rapidez que en la actualidad las sustancias orgánicas superan los nueve millones. La abundancia misma es estos compuestos justifica que la Química Orgánica constituya un capítulo aparte, al englobar el amplio estudio de los compuestos del carbono.

Un número pequeño de compuestos que contienen carbono se clasifican como compuestos inorgánicos. Entre ellos se cuentan compuestos que contienen el ión carbonato,  $\text{CO}_3^{-2}$ , el ión bicarbonato,  $\text{HCO}_3^{-1}$ , y el ión cianuro,  $\text{CN}^-$ , porque los compuestos que contiene estos iones presentan propiedades similares a los de otros compuestos inorgánicos; no se parecen a los compuestos orgánicos representativos. La mayor parte de las sustancias orgánicas que utilizamos se derivan que compuestos que están presentes en el petróleo, el gas natural y la hulla, e incluyen combustibles, fibras sintéticas, plásticos, resinas, medicamentos, plaguicidas y herbicidas. Los compuestos orgánicos también están presentes en los organismos vivos, y comprenden los carbohidratos, lípidos (grasas y compuestos relacionados), aminoácidos, proteínas, vitaminas, hormonas y enzimas.

Existe una considerable confusión asociada al empleo cotidiano de la palabra orgánico. El fertilizante orgánico lo es en el sentido original de que se deriva de organismos vivos. El estudio de las propiedades del átomo de carbono permite explicar que este elemento sea prácticamente el único que dé lugar a numerosos compuestos. Bastará recordar que el carbono tiene cuatro posibilidades de enlace (4 electrones de valencia) y los enlaces que forma son covalentes.

#### 2. FUENTES DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS

**El carbón.** El carbón mineral tiene origen vegetal, ya que proviene de la acumulación de vegetales descompuestos en las eras geológicas. Cuando el carbón se somete a altas temperaturas libera compuestos orgánicos, que a su vez sirven para sintetizar otros más complejos.

**El Petróleo.** Es la fuente más importante de los compuestos orgánicos, al destilarlo se puede obtener de allí compuestos como la gasolina, aceites, lubricantes y otros compuestos utilizados como materia prima para la elaboración de colorantes, polímeros, medicamentos, etc.

**Organismos vivos.** Los organismos vivos están formados en su mayoría por compuestos orgánicos, entre los cuales tenemos, proteínas, vitaminas, carbohidratos, hormonas, grasas, etc., de hecho si extrajéramos del cuerpo humano los compuestos orgánicos que éste tiene, quedaría tan solo agua y un pequeño residuo mineral.

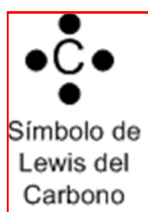
**Síntesis orgánica.** Es la obtención en el laboratorio, de compuestos orgánicos a partir de otros, mediante procesos químicos.

#### Actividad de Refuerzo # 1.

Investigar en un texto de química orgánica las propiedades de los compuestos orgánicos e inorgánicos. En una tabla, contraste estas propiedades.

### 3. EL ÁTOMO DE CARBONO: HIBRIDACIÓN

Es necesario conocer la estructura del átomo de carbono para comprender por qué puede formar más de nueve millones de compuestos.



Experimentalmente se ha encontrado que el átomo de carbono presenta cuatro posibilidades de enlace (4 enlaces covalentes) en donde el enlace puede ser sencillo, doble o triple. La estructura electrónica presenta 4 electrones de valencia desapareados. Observe el símbolo de Lewis.

De acuerdo con el tipo de enlace (sencillo, doble, triple) el átomo de carbono presenta tres clases de hibridación, entendiéndose por esta, la disposición que adquieren los orbitales atómicos 2s y 2p para reorganizar sus electrones.

#### 4. HIBRIDACIÓN SP<sup>3</sup>

El diagrama ilustra el proceso de formación de los 4 orbitales del átomo de carbono cuando presenta enlaces sencillos. Como el átomo de carbono presenta 4 electrones desapareados, es necesario promover un electrón del subnivel 2s al orbital 2p vacío, este estado se conoce como estado excitado. Se sabe los cuatro orbitales son de igual energía, el estado excitado no cumple esta evidencia experimental, por lo tanto (proponen los químicos) el orbital 2s se mezcla (o *hibridiza*) con los tres orbitales 2p para formar 4 orbitales híbridos equivalentes llamados sp<sup>3</sup>. Cuando el átomo de carbono presenta este tipo de hibridación sus enlaces son sencillos. Ver figura 1.

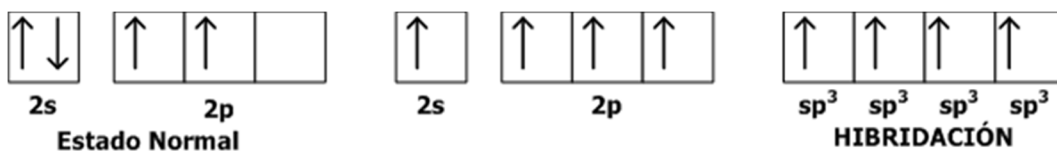


Figura 1. Hibridación SP<sup>3</sup> en el átomo de Carbono. Enlaces sencillos

La figura 2 ilustra el modelo geométrico del átomo de carbono con hibridación sp<sup>3</sup>. Es un tetraedro regular, en donde el átomo de carbono se encuentra en el centro del tetraedro, los orbitales híbridos se dirigen a los vértices del tetraedro y los ángulos entre ellos son 109°. Se puede observar como comparte el carbono electrones con el hidrógeno para formar la molécula de metano, CH<sub>4</sub> (figura 3).

Otra forma de representar la molécula es utilizando el llamado modelo convencional, en donde la molécula se representa en un plano con ángulos de  $90^\circ$ . Ver figura.

En la molécula de etano,  $\text{CH}_3 - \text{CH}_3$ , el carbono también presenta enlaces sencillos. El modelo geométrico se obtiene uniendo dos tetraedros por uno de sus vértices.

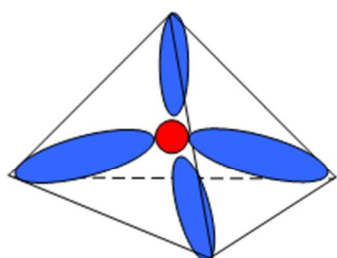


Figura 2. Hibridación  $sp^3$ . Los 4 orbitales se distribuyen formando un tetraedro regular. El ángulo entre ellos  $109^\circ$ .

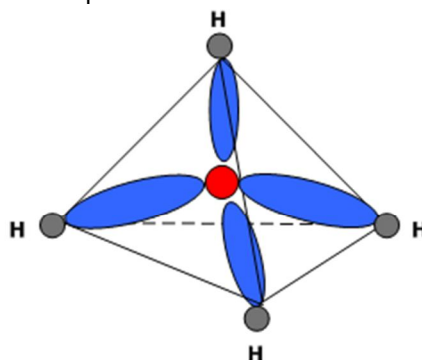
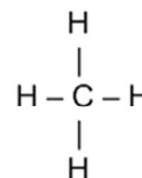


Figura 3. METANO. Modelo Geométrico



## 5. HIBRIDACIÓN $sp^2$

Cuando el átomo de carbono presenta enlaces dobles, la hibridación se llama  $sp^2$ . De los 4 orbitales atómicos ( $2s$ ,  $2p_x$ ,  $2p_y$  y  $2p_z$ ) se hibridizan  $2s$  y dos de los tres orbitales  $2p$ , dando como resultado tres orbitales híbridos llamados  $sp^2$ . El otro orbital que no se hibridiza es perpendicular al plano de la figura trigonal plana que forman los orbitales que se mezclaron. Ver figuras 4 y 5.



Figura 4. Hibridación  $sp^2$  en el átomo de Carbono. Enlaces dobles

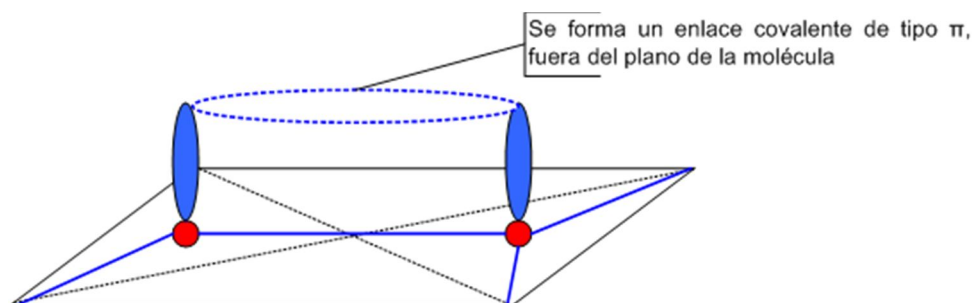
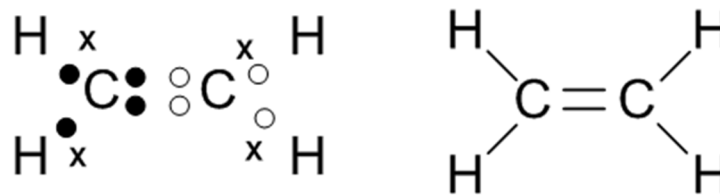


Figura 5. Hibridación  $sp^2$ . Los 3 orbitales híbridos se distribuyen formando una superficie trigonal plana, con un ángulo entre orbitales de  $120^\circ$ .

El compuesto más simple en donde el átomo de carbono presenta enlaces dobles es el eteno o etileno,  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ . Ver Figura.



Fórmula Electrónica y Estructural (modelo convencional) de la molécula de Eteno

El doble enlace C=C se forma entre dos orbitales híbridos  $sp^2$  de cada carbono y los orbitales p no híbridos. Este último enlace se encuentra fuera del plano de la molécula, se llama un enlace pi,  $\pi$ . Los demás enlaces covalentes se llaman sigma,  $\sigma$ . En la hibridación  $sp^3$  todos los enlaces covalentes son  $\sigma$ .

### 6. HIBRIDACIÓN SP: ENLACE TRIPLE.

El enlace triple en el átomo de carbono se presenta cuando la hibridación es  $sp$ . Es decir, un orbital s se *hibridiza* con un orbital p. Dos orbitales p no se *hibridizan* dando lugar a dos enlaces tipo  $\pi$ . Veamos:

El modelo espacial de los dos orbitales híbridos es lineal, separados por un ángulo de  $180^\circ$ . Veamos un ejemplo con la molécula de etino o acetileno,  $CH\equiv CH$ .



Figura 6. Hibridación SP en el átomo de Carbono. Enlaces triples

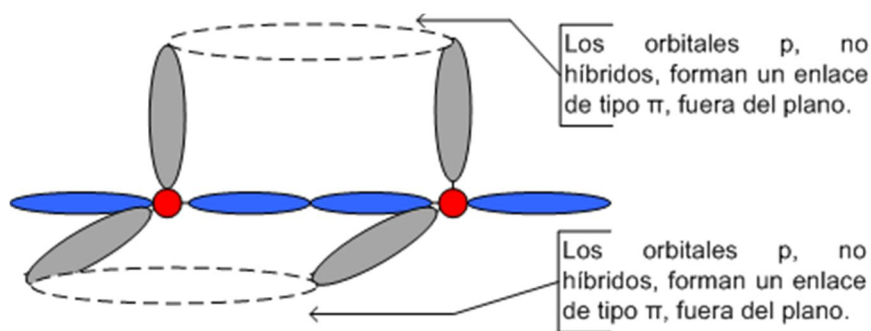
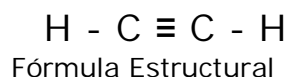


Figura 7. Hibridación  $sp$ . Los 2 orbitales híbridos se distribuyen formando una imagen lineal, con un ángulo entre orbitales de  $180^\circ$ .

En la molécula de etino o acetileno (nombre común) se puede observar la fórmula electrónica y estructural. Veamos:



**Actividad de Refuerzo # 2.** Escriba el modelo geométrico, la fórmula electrónica y estructural de los compuestos:

- Propano,  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$
- Propeno,  $\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2$
- Propino,  $\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{C-H}$
- Numere los átomos de carbono (1, 2, 3) y prepare una tabla indicando la hibridación que presentan y los enlaces  $\sigma$  y  $\pi$ .

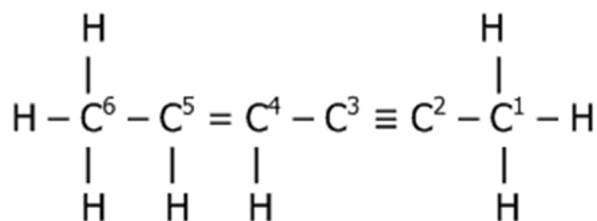
**Actividad de Refuerzo # 3.**

PARA INVESTIGAR. La teoría moderna sobre la hibridación se ha extendido a elementos como el oxígeno y el nitrógeno. Se sabe que en las moléculas de agua,  $\text{H}_2\text{O}$ , y amoníaco,  $\text{NH}_3$ , estos dos elementos presentan hibridación  $\text{sp}^3$ . Los ángulos de enlace no son  $109^\circ$  como en el metano,  $\text{CH}_4$ , sino  $107^\circ$  y  $105^\circ$  respectivamente. Consulte en un texto de química orgánica el proceso de hibridación del oxígeno y el nitrógeno en estas dos moléculas y explique por qué los ángulos de enlace son menores de  $109^\circ$ .

**PREGUNTAS EXPLICADAS # 1.**

- En la cadena de hidrocarburo siguiente, numere los átomos de carbono, e identifique los tipos de hibridación que presenta cada uno de ellos.
- Diga entre qué orbitales se forman los 13 enlaces covalentes presentes en la molécula. ¿Cuántos enlaces pi hay, y entre qué carbonos?

Pregunta A.



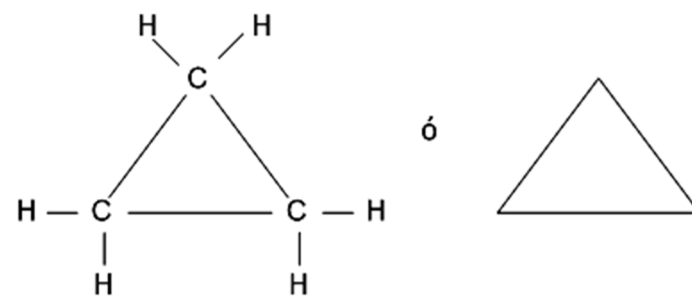
- Carbono 1: 4 enlaces sencillos. Hibridación  $\text{sp}^3$   
 Carbono 2: 1 enlace triple, un enlace sencillo. Hibridación  $\text{sp}$ .  
 Carbono 3: 1 enlace triple, un enlace sencillo. Hibridación  $\text{sp}$ .  
 Carbono 4: 1 enlace doble, dos enlaces sencillos. Hibridación  $\text{sp}^2$ .  
 Carbono 5: 1 enlace doble, dos enlaces sencillos. Hibridación  $\text{sp}^2$ .  
 Carbono 6: 4 enlaces sencillos. Hibridación  $\text{sp}^3$ .

Pregunta B.

- $\text{C}^1 - \text{H}$   $\text{sp}^3$  del carbono y s del hidrógeno.  
 $\text{C}^1 - \text{C}^2$   $\text{sp}^3$  del carbono 1 y  $\text{sp}$  del carbono 2.  
 $\text{C}^2 - \text{C}^3$   $\text{sp}$  de ambos carbonos.  
 $\text{C}^3 - \text{C}^4$   $\text{sp}$  del carbono 3 y  $\text{sp}^2$  del carbono 4.  
 $\text{C}^4 - \text{H}$   $\text{sp}^2$  del carbono 4 y s del hidrógeno.  
 $\text{C}^4 - \text{C}^5$   $\text{sp}^2$  de ambos carbonos.  
 $\text{C}^5 - \text{H}$   $\text{sp}^2$  del carbono 5 y s del hidrógeno.  
 $\text{C}^5 - \text{C}^6$   $\text{sp}^2$  del carbono 5 y  $\text{sp}^3$  del carbono 6.  
 $\text{C}^6 - \text{H}$   $\text{sp}^3$  del carbono 6 y s del hidrógeno.

Enlaces  $\pi$ : uno entre los carbonos 4 y 5, dos entre los carbonos 2 y 3. Total tres enlaces  $\pi$ .



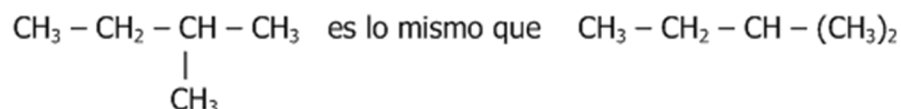
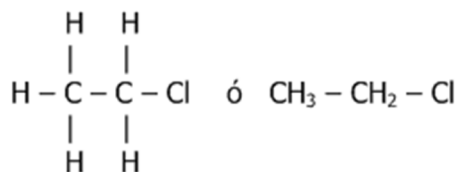


Hidrocarburo Cíclico. La cadena es cerrada, se inicia y termina en el mismo carbono.

En los hidrocarburos cíclicos, se acepta dibujar la figura geométrica. Observe. El último en forma de triángulo.

### 7.3. DIVERSAS MANERAS DE ESCRIBIR UNA FORMULA ESTRUCTURAL.

Una fórmula estructural se puede escribir en forma *condensada*, reuniendo en un mismo grupo el carbono y todos los átomos unidos a él. Veamos:



Los enlaces covalentes se pueden omitir.

### 7.4. SERIES HOMOLOGAS.

Una serie homóloga es aquella que está constituida por un grupo de compuestos, en la que cada uno de sus miembros se distingue del inmediatamente superior o inferior por un grupo  $-\text{CH}_2-$ , llamado metileno.

Serie homóloga de los alcanos:  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$  (fórmula general)

$\text{CH}_4$	metano
$\text{CH}_3\text{CH}_3$	etano
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	propano
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$	butano

Serie homóloga de los alquenos:  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$

$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	eteno
$\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}_2$	propeno
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$	buteno

### 7.5. GRUPOS ALQUILO.

Los grupos alquilo resultan de quitar un hidrógeno en el correspondiente hidrocarburo (compuestos que contienen carbono e hidrógeno). Estos grupos son los que ramifican las cadenas de hidrocarburos. Los nombres de los grupos alquilo se derivan del correspondiente alcano, cambiando la terminación ano por **ilo** o **il**.

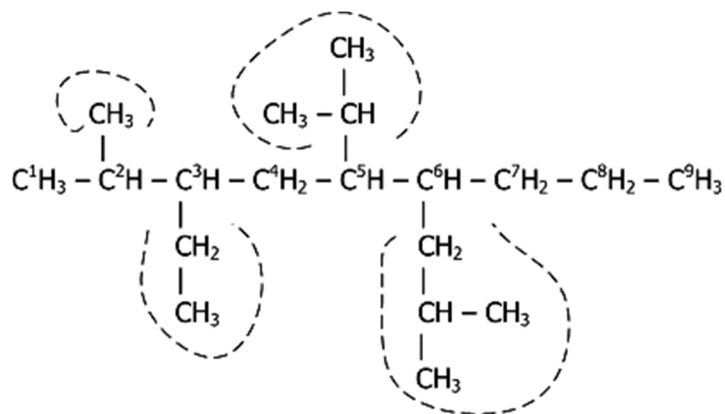
En la tabla siguiente se indican las fórmulas moleculares condensadas y los nombres de todos los grupos alquilo que contienen hasta cuatro átomos de carbono. Es preciso aprender a identificarlos y saber sus nombres, ya que constituyen la base de la nomenclatura de todos los compuestos orgánicos.

Complejidad aumenta <span style="float: right;">→</span>				
<b>CH<sub>3</sub>-metilo</b>	<b>CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-etilo</b>	<b>CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-n-propilo</b>	<b>CH<sub>3</sub>-CH-CH<sub>3</sub>   i-propilo</b>	<b>CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-n-butilo</b>
		<b>CH<sub>3</sub>   CH<sub>3</sub>-C-   CH<sub>3</sub> terbutilo</b>	<b>CH<sub>3</sub>-CH-CH<sub>2</sub>-   CH<sub>3</sub> isobutilo</b>	<b>CH<sub>3</sub>-CH-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>   secbutilo</b>
← Complejidad aumenta				

**GRUPOS ALQUILO HASTA DE 4 CARBONOS**

### 7.6. CADENA PRINCIPAL EN HIDROCARBUROS RAMIFICADOS.

En los hidrocarburos ramificados es preciso identificar la cadena principal y los nombres de los grupos alquilo que ramifican la cadena. La cadena principal es la secuencia (cadena continua) más larga de átomos de carbono de la molécula. Cuando hay dos cadenas de igual longitud, se escoge la más ramificada. Se consideran ramificaciones, los grupos alquilo que se unen a la cadena principal. Veamos el hidrocarburo ramificado a continuación:

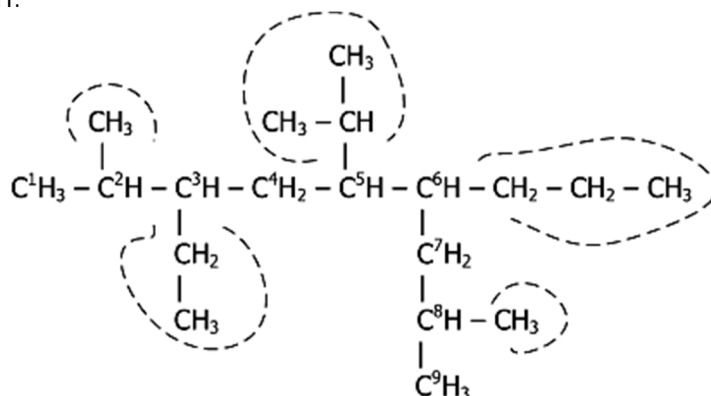


Esta cadena principal de 9 carbonos tiene 4 ramificaciones



Se trata de una cadena de nueve carbonos y 4 ramificaciones que corresponden a grupos alquilo. Estos se identifican de izquierda a derecha y de arriba abajo como: Metil, isopropil, etil e isobutil.

El mismo hidrocarburo, tiene otra cadena de nueve carbonos y cinco ramificaciones como se observa a continuación:

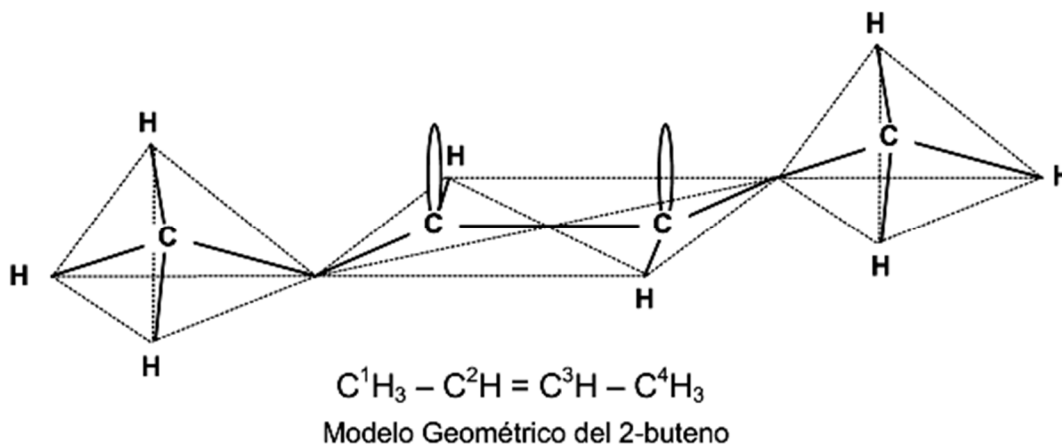


El mismo hidrocarburo, con otra cadena de 9 carbonos pero 5 ramificaciones. Esta cadena de nueve carbonos es la **cadena principal**.

Ahora, los grupos alquilo que ramifican la cadena en el mismo orden del caso anterior son: Metil, isopropil, n-propil, etil y metil.

**PREGUNTA EXPLICADA # 2.** Dibujar el modelo geométrico del hidrocarburo:  $\text{CH}_3\text{-CH}=\text{CH-CH}_3$ , llamado 2-buteno<sup>1</sup>.

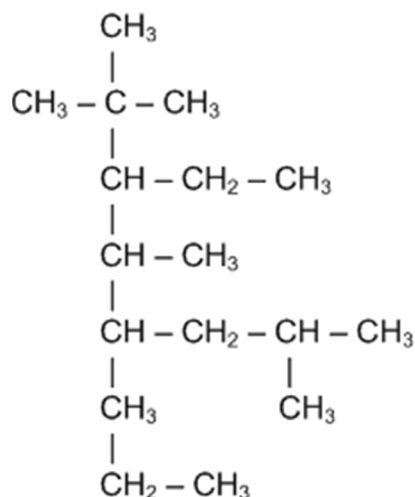
Los carbonos de los extremos (1 y 4) tienen enlaces sencillos, por lo tanto la hibridación es  $\text{sp}^3$ . Los carbonos secundarios (2 y 3) presentan enlace doble, es decir, la hibridación es  $\text{sp}^2$ . Debemos acoplar en el dibujo dos modelos tetraédricos en los extremos y el modelo trigonal plano de la hibridación  $\text{sp}^2$ . Veamos:



<sup>1</sup> En el capítulo dedicado a la Isomería, se complementará este caso.

## 8. ACTIVIDADES DE MEJORAMIENTO

1. En el hidrocarburo siguiente:



- Clasifique cada uno de los carbonos.
- Identifique la cadena principal y numérela empezando por el extremo en donde se encuentren más cerca las ramificaciones.
- Identifique por su nombre los grupos alquilo que se unen a la cadena principal, anteponiendo el número del carbono (separado por un guion) al cual se une en dicha cadena. Ejemplo: 3-metil. Clasifique el hidrocarburo.

2. En el hidrocarburo  $\text{C}^1\text{H}_3 - \text{C}^2\text{H} = \text{C}^3\text{H} - \text{C}^4\text{H}_3$  :

- ¿Cuál es el ángulo de enlace en el carbono 1?
- ¿Cuál es el ángulo de enlace en el carbono 2?
- ¿Entre que orbitales se forma el enlace  $\text{C}^1 - \text{C}^2$ ?
- ¿Entre que orbitales se forma el enlace  $\text{C}^2 - \text{H}$ ?
- ¿Entre que orbitales se forma el enlace  $\text{C}^2 - \text{C}^3$ ?

3. Dibujar el modelo geométrico de la molécula de  $\text{CH} \equiv \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2$ .

4. Dibujar el modelo geométrico del hidrocarburo:  $\text{CH}_3 - \text{C} \equiv \text{C} - \text{CH}_3$ . En este modelo identifique los enlaces sigma ( $\sigma$ ) y pi ( $\pi$ ).