

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Pág.

1. GENERALIDADES <b>Bookmark not defined.</b>	Error!
1.1. INTRODUCCIÓN	3
2. EL CARBONO	4
2.1 GRAFITO	4
2.2 DIAMANTE	5
2.3 BUCKMINSTERFULERENO	6
2.4 FORMAS MICROCRISTALINAS O AMORFAS DE GRAFITO	7
2.4.1 HUMO NEGRO	7
2.4.2 CARBÓN VEGETAL	7
2.4.3 CARBONO EN FORMA COMBINADA	7
3. HISTORIA DEL CARBONO	8
3.1. CARACTERÍSTICAS DEL CARBONO	9
3.2. OBTENCIÓN DEL CARBONO	9
3.3. COMPUESTOS DEL CARBONO	10
3.4. ENLACES CARBONO-CARBONO	12
4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CARBONO	14
4.1. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CARBONO	16
5. DIÓXIDO DE CARBONO	17
5.1 DESCRIPCIÓN	17
5.1.2. HISTORIA DEL DIÓXIDO DE CARBONO	19
5.1.3 ESTRUCTURA MOLECULAR	21
5.1.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS	23
5.1.5 GAS DE EFECTO INVERNADERO	24
6. DISOLUCIONES DEL GAS DIÓXIDO DE CARBONO	28
7. SECUESTRO DE CO <sub>2</sub>	29
7.1. INYECCIÓN CO <sub>2</sub>	32
7.2 CONSECUENCIAS DE LA INYECCIÓN MULTIFÁSICA	33
8. GLOSARIO	35
9. BIBLIOGRAFÍA	37

## INTRODUCCIÓN

La emisión incontrolada de gases de efecto invernadero han llevado a una concentración de dióxido de carbono hasta unos niveles muy altos que resultan en el cambio climático, el impacto que tiene sobre el planeta es enorme, con predicciones de falta de agua potable, grandes cambios en las condiciones para la producción de alimentos y un aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones, tormentas, sequías y olas de calor.

Los principales gases de efecto invernadero son producidos por la actividad humana como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que es producto de la quema de los combustibles fósiles, el  $\text{CO}_2$  se emite principalmente por tres sectores que son transporte, sector eléctrico y terciarios (doméstico y servicios), que a su vez son las principales fuentes de contaminación en la atmósfera.

El desarrollo económico de varios países especialmente aquellos en vías de desarrollo cuentan con una gran demanda energética, por lo que las proyecciones indican un crecimiento de la necesidad del uso de combustibles energéticos de tipo fósiles, se estima que ésta seguirá en aumento hasta que no se desarrollen nuevas tecnologías ambientales, es por esta razón que en la actualidad los efectos invernaderos comienzan a visualizarse y proyectarse, por ende es necesario controlar dichas emisiones de estos gases como el  $\text{CO}_2$  con el fin de proteger el medio ambiente.

Las opciones que se han dado para la reducción del  $\text{CO}_2$ , es capturarlo en el subsuelo, una técnica que consiste en capturar el  $\text{CO}_2$  y luego almacenarlo por un largo periodo de tiempo, ya sea en formaciones geológicas del subsuelo, en océanos o en otros materiales, sin embargo existen muchas barreras para su expansión en muchos países. Por tanto, la creación de condiciones que faciliten la difusión de esta tecnología en los países en vías de desarrollo resultaría esencial para que la técnica se adopte a nivel mundial.

La preocupación de las potencias mundiales ante los informes de cambio climático y efecto de las emisiones de dióxido de carbono, generó gran interés en la investigación de tecnologías eficientes de captura, desarrollándose rápidamente métodos eficientes para la reducción responsables de casi el 50% de las emisiones de este gas.

## **2. El CARBONO**

El carbono es un elemento clave y fundamental que interviene en la química orgánica, es un elemento de basta abundancia en cada rincón del planeta, aunque éste sólo representa el 0.028% de la corteza terrestre, alrededor de un 0.089% en masa. En la naturaleza, existen tres formas en la que se localiza carbono elemental y son, grafito, diamante y Buckminsterfulereno también llamado fulereno.

### **2.1 Grafito**

En primer lugar el grafito natural es una manera microcristalina (*ilustración 1*) en que se puede localizar el carbón naturalmente en depósitos, presente en la tierra. Se caracteriza por un color gris un poco plateado, pero mucho más denso que la antracita, además tiene una textura suave.

Entre sus principales características está que presenta propiedades de lubricante, que es capaz de soportar temperaturas muy elevadas, y que es un excelente conductor de electricidad, por lo ya mencionado presenta usos diferentes, a otros tipos de carbón. (Martín . 2004)



*Ilustración 1. El Grafito*

Fuente: Kharissova (2006)

## 2.2 Diamante

Está comprobado que es uno de los materiales más resistentes que se conoce en la actualidad, cuyas cualidades superficiales es ser sólido y transparente. En el diamante los átomos de carbono por lo general tienden a elaborar redes covalentes, cada uno de estos átomos se encuentra unido a otros cuatro en una estructura que presenta forma tridimensional (*ilustración 2*). Presenta también una densidad aproximada de  $3.52 \text{ g/cm}^3$ , a temperaturas muy superiores ( $1 \times 10^5 \text{ atm.}$  y  $300^\circ\text{C}$ ) el grafito consigue transformarse en diamante.

Se extraen alrededor de  $3 \times 10^4 \text{ kg}$  de diamante de ámbito industrial cada año, que por lo general sirve para los cortes en pulimentos y molienda. Posee determinadas propiedades anisotrópicas, no tiene la capacidad de ser un conductor de la electricidad, pero sin embargo tiene mayor capacidad de conductividad térmica (alrededor de cuatro veces la del elemento plata o del cobre).

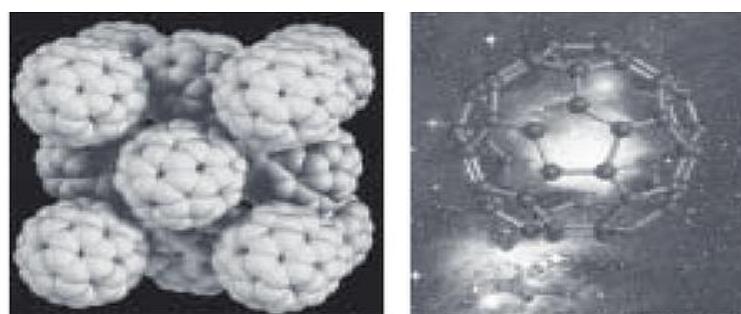


*Ilustración 2 Estructura de los átomos del Diamante*

Fuente: Álvarez (2015)

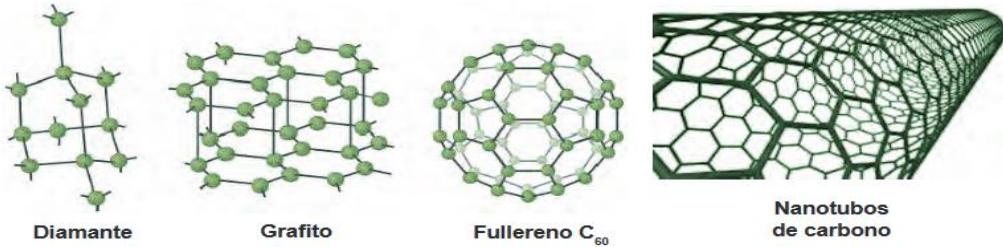
### 2.3 Buckminsterfulereno

Los fulerenos (*ilustración 3*) constituyen la tercera forma en la que el carbono se presenta de forma más estable, tras del diamante y el grafito. Desde su descubrimiento ha pasado poco tiempo, son muy codiciados por los químicos, debido a su facilidad para producir nuevos compuestos, esto es posible ya que presentan formas cilíndricas, esféricas o elipsoides. A los fulerenos cilíndricos se les conocen como buckytubos, y a los fulerenos esféricos como buckyesferas. Heredan dicho nombre de Buckminster Fuller (1895-1983). (Soler. 2006)



*Ilustración 3. Fulereno C540*

Fuente: Kharissova (2006)



*Ilustración 4. Alótropos del Carbono*

Fuente: Olmedo (2013)

## 2.4 Formas microcristalinas o amorfas de Grafito

### 2.4.1 Humo negro

Se produce cuando se someten a temperaturas extremadamente elevadas, hidrocarburos tal es el caso del metano, (ilustración 5) con una cantidad muy pobre o limitada de oxígeno. En la industria lo utilizan como una clase de pigmento en tintas negras y además en la manufactura para la elaboración de neumáticos para los automóviles. (Cabrera 2004)

### 2.4.2 Carbón vegetal

Es también conocido como carbón activado, para lograr obtenerlo hay que atravesar un proceso en el que se muele el carbón común, y es sometido al calentamiento mediante vapor, en el que se evita por completo cualquier pequeño contacto con el aire, logrado así obtener una superficie carbonífera con propiedades mucho más absorbentes, lo que supone una capacidad que equivale alrededor de unos diez mil metros cuadrados por cada cucharada de carbón vegetal. (Jones, 2002)

### 2.4.3 Carbono en forma combinada

- Existen de manera principal en forma de carbonatos ( $\text{CO}_3$ )<sup>-2</sup>
- En recursos naturales tales como el petróleo, gas natural, también en organismos vivos como animal y vegetal.

- Carbón impuro está presente en la hulla, turba, coque, antracita, y lignito, se lo puede encontrar como caliza ( $\text{CaCO}_3$ )
- También se puede encontrar como CO y  $\text{CO}_2$  presente en la atmósfera.
- Presente en materia viva, el carbono se une a elementos tales como el nitrógeno, oxígeno e hidrógeno y así formar sustancias orgánicas que constituyen a los seres vivos como por ejemplo están los carbohidratos, lípidos, carbohidratos entre otros.

### **3. HISTORIA DEL CARBONO**

El carbono se conoce desde la antigüedad, se encontraba mediante la combustión incompleta de materiales orgánicos, todo esto depende de las condiciones de formación en la naturaleza, que son distintas formas como: carbono amorfo y cristalino también en forma de grafito o diamante.

El grafito tiene la capacidad de combinarse con arcilla para la fabricación de las minas de lápices, también se lo utiliza como un aditivo en los lubricantes. El diamante es utilizado como un material de corte debido a su dureza, todo esto constituye la base de todos los procesos vitales que se encuentra en una variedad de combinaciones con otros elementos, el carbono es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza donde existe principalmente en forma de carbonatos.

El carbono es el elemento más antiguo conocido por el hombre por formar parte de todos los seres vivos y la materia orgánica, el principal uso industrial del carbono es como componente de hidrocarburos, especialmente de los combustibles fósiles (petróleo y gas natural). Del petróleo se obtiene: gasolina, queroseno y aceites que son realizados

por destilación en las refinerías, siendo además la materia prima empleada en la obtención de plásticos y el gas natural se lo encuentra al igual que el petróleo en yacimientos generados en el subsuelo, este gas se está imponiendo como fuente de energía por su combustión más limpia.

### 3.1. Características del carbono

El carbono es un elemento clave por varias razones y una de sus principales características es que está compuesta en la creación de nuestro planeta también incluye formas alotrópicas que son sustancias muy blandas o muy duras como el grafito y el diamante, presentan una gran afinidad para enlazarse químicamente con átomos más pequeños ya que esto les permite formar largas cadenas o enlaces múltiples

### 3.2. Obtención del carbono

- El carbono: Es un elemento que se lo encuentra muy puro en la naturaleza como estado elemental en sus formas alotrópicas que son diamante y grafito, el carbón es uno de los materiales más ricos en carbono.
- Grafito: se obtiene artificialmente por la descomposición de carburos de silicio en un horno eléctrico.
- Diamante: se lo puede encontrar en la naturaleza en rocas eruptivas y en el fondo del mar, al igual que se puede obtener artificialmente en las industrias tratando grafito a 3000°k de temperatura y a una presión entre 125 - 150 k atm. (Diamante, pág. 6)
- Carbón de coque: Elemento rico en carbono por lo que es producto residual en la destilación de la hulla.

- Fullerenos: se los encuentran en el humo de los fuegos y se obtienen artificialmente haciendo saltar un arco entre dos electrodos de grafito o sublimando grafito por acción de un láser.

### 3.3. Compuestos del carbono

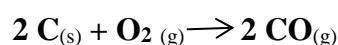
El carbono tiene la propiedad de unirse para formar cadenas rectas o ramificadas que pueden ser enlaces simples, dobles o triples y en el caso de los hidrocarburos sólo hay uniones de hidrógeno, sin embargo tiene la capacidad de formar enlaces covalentes con otros elementos como el oxígeno y el nitrógeno.

Al combinarse estas sustancias de origen biológico como el carbón, el petróleo o el gas natural con el oxígeno empiezan a oxidarse, esto produce dióxido de carbono y agua (Ec.1) por lo que es una reacción exotérmica donde desprende luz y calor al arder



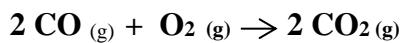
Ec. 1

El CO<sub>2</sub> que se ha producido se acumula en la atmósfera causando el efecto invernadero, por lo tanto, es necesario encontrar un equilibrio entre la energía producida y la masa de CO<sub>2</sub> emitida, por esta razón es indispensable obtener un combustible que logre proporcionar más energía y menos CO<sub>2</sub>. El carbono forma dos óxidos principales que son monóxido de carbono (CO) y CO<sub>2</sub>, el monóxido de carbono (Ec. 2) se forma cuando se quema carbono o hidrocarburos con un suministro limitado de oxígeno.



Ec. 2

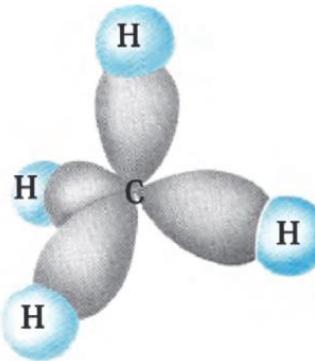
El dióxido de carbono es el componente secundario de la atmósfera terrestre (Ec.3) es el que contribuye en forma importante al llamado efecto invernadero, este compuesto no es tóxico pero en altas concentraciones aumenta el ritmo de la respiración y puede causar asfixia. El CO<sub>2</sub> sólido se lo conoce como hielo seco, de esta procedencia aproximadamente la mitad del dióxido de carbono que se consume cada año es utilizado para refrigeración.



Ec. 3

El proceder del elemento carbono en la inimaginable cantidad de compuestos que hay es en gran parte debido a la existencia de cuatro electrones que se hayan desapareados, evitando así que ninguno de ellos contenga mayor capacidad de reacción que los otros tres. La única manera que se ha logrado encontrar para dar una explicación coherente a este comportamiento particular, es mediante la llamada teoría de la hibridación.

Hibridar es realizar el cruce de dos especies distintas. Si se presenta una especie de fusión entre el orbital 2s y los tres orbitales 2p, se logrará entonces obtener como resultado cuatro orbitales híbridos,  $2sp^3$ , que presentan exactamente idéntica energía y por ende los electrones que se encuentran ubicados en estos orbitales poseerán una similar capacidad de reacción, como por lo general es lo más normal que ocurra en todos los compuestos que presenten enlace covalente sencillo.



*Ilustración 5. La estructura del metano, se puede explicar Combinando un orbital s de cada uno de los 4 Hidrógenos con cada orbital híbrido Sp<sup>3</sup> del Carbono.*

*Fuente: Ernest (2000)*

### 3.4. Enlaces carbono-carbono.

La hibridación  $sp^3$ , que genera cuatro enlaces simples los cuales identificados como Sigma  $\delta$ , por su lado la hibridación  $sp^2$ , que genera un enlace doble y otros dos enlaces sencillos, y por último punto la hibridación  $sp$  que es capaz de generar un enlace triple y un sencillo.

El carbono es un elemento de carácter muy relevante, ya que es capaz de generar moléculas de extremada complejidad, con una inmensa cantidad de átomos. Esto se debe a su configuración atómica y también a aquellas propiedades químicas que esta estructura propone.

Los átomos de carbono consiguen llenar los orbitales energéticos *s* y *p*. El subnivel 1*s*, posee dos átomos, y está completamente saturado, como consecuencia de haber logrado alcanzar su número límite de átomos. Por otra parte, en su subnivel *sp*, (mencionando que este subnivel, *sp*, posee un número de saturación de específicamente de 8 electrones) tan solo contiene 4 electrones, por aquella costumbre de los elementos

químicos a crear enlaces, muy estables, y por la ya mencionada y especial particularidad del elemento carbono, estos átomos poseen la peculiaridad de brindar o atraer los cuatro electrones, para lograr así normalizar sus órbitas, lo que le permite trabajar con las valencias +4 y -4 (Mitchell, 2010).

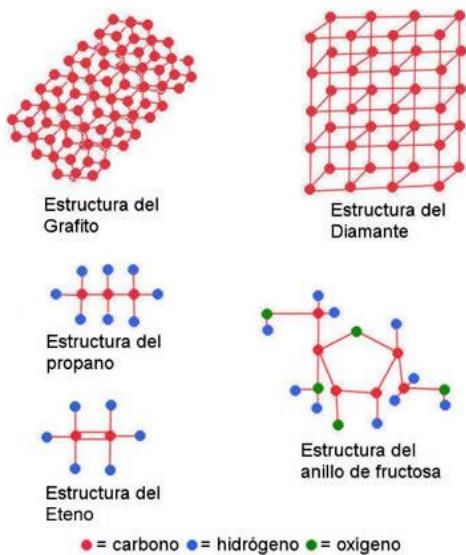
Los electrones de valencia, sin tomar en consideración el subnivel al que pertenezcan, tienen una idéntica capacidad de reacción; pero sin embargo, dependiendo del subnivel energético en que se lleven a cabo los enlaces, por consecuencia de la hibridación (unión de los orbitales *s* con los orbitales *p*, que nos dan cuatro orbitales  $2sp$  [ $2sp$ ,  $2sp^1$ ,  $2sp^2$ ,  $2sp^3$ ] cada uno libre para brindar o recibir un electrón, pueden estructurar distintos enlaces entre átomos de carbono, que logra proveer en forma natural o también ser creados en un laboratorio de manera artificial.

Así tenemos entonces que cuando los enlaces se presentan en el subnivel energético  $2sp^3$ , la configuración por lo general es cristalina, prismática, y tetraédrica. En la naturaleza esta es la estructura que posee el diamante. En el momento en el que los enlaces se logran llevar a cabo en el subnivel  $2sp^2$ , crea estructuras hexagonales o triangulares, que forman una especie de capas en forma de anillos. En la naturaleza es posible localizar en la estructura que tiene del grafito.

Si los enlaces se llevan a cabo en el nivel  $2sp$ , las estructuras son planas, y lineales. En el laboratorio ha sido posible controlar los subniveles de fusión de las estructuras químicas para así lograr ciertas características, es el caso de los nanotubos y fulerenos en los que el dominio de las “conexiones” estructurales del elemento carbono, es capaz de

dar ciertas características cristalinas y geométricas a cada fusión atómica para así adquirir las estructuras deseadas. (Morozava, 2010)

En la química orgánica, las fusiones del carbono pueden obtener múltiples estructuras, entre las más relevantes se puede encontrar las siguientes: Arbóreas, Lineal y de anillo, y también se puede presentar una fusión, tal es el caso de la fructosa, en donde existe una combinación de ramificaciones (arbórea) con la estructura en forma de anillo.



*Ilustración 6. Principales estructuras del Carbono*

*Fuente: Paulo (2013)*

#### 4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL CARBONO

Las propiedades químicas y físicas del carbono por lo general tienden a depender de la estructura cristalina que tiene el elemento. Una enorme variedad de metales se logran fusionar con el elemento carbono a temperaturas muy elevadas para así obtener carburos.

Al combinarse con el oxígeno es capaz de formar tres compuestos gaseosos dichos gases son los siguientes: monóxido de carbono, dióxido de carbono, y subóxido

de carbono, Los dos primeros casos son los de mayor relevancia, si se toma principalmente el punto de vista industrial. El carbono es un elemento con características únicas en las ciencias químicas, debido a que forma un número de compuestos extremadamente mayor, a la suma total de todos los otros elementos presentes en la tabla periódica combinados.

El conjunto más numeroso de estos compuestos es el que está constituido por la combinación de tanto carbono como hidrógeno. Se ha logrado identificar un mínimo de un millón de compuestos orgánicos aproximadamente, y este número se eleva de manera impresionante cada año. Aunque la clasificación no es del todo rigurosa, el carbono también forma otro conjunto de compuestos los cuales son considerados como inorgánicos, aunque es un número de compuestos obviamente mucho menor al que forma en los orgánicos. (Mitchell, 2010)

Tabla 1. *El Carbono*

Nombre	Carbono
Número Atómico	6
Descubridor	Los antiguos
Valencia	2, +4, -4
Configuración Electrónica	$1s^2, 2s^2, 2p^2$
Masa Atómica ( g/mol)	12.01115
Punto de Ebullición (°C)	4830
Punto de fusión (°C)	3727
Densidad (g/ml)	2.26

Fuente: Mónica (2014)

#### 4.1. Propiedades químicas del carbono

- Capaz de formar una fusión con consigo mismo pero también con otros elementos, especialmente la unión carbono e hidrogeno, de manera principal en la química orgánica con una unión covalente (en el que no existe transferencia de electrones, estos tan sólo se comparten).
- Tiende a formar cadenas de átomos de carbono muy estables entre sí mismo en forma de uniones simples, dobles o triples, esto significa una explicación a la enorme capacidad de formar numerosos compuestos orgánicos.
- El carbono al tener contacto con en el aire, a temperaturas altas descompone al vapor de agua y en presencia de una pequeña cantidad de oxígeno formando así CO, pero cuando existe mayor presencia de oxígeno genera  $CO_2$ , y simplemente a temperaturas realmente bajas.

El monóxido de carbono (CO) es un gas muy inflamable y tóxico aunque no es irritante, por lo que al hacer contacto con las personas puede pasar completamente desapercibido. Es mucho más ligero que el aire, esto es una explicación de por qué se acumula en las zonas elevadas de atmósfera del planeta. Mediante el análisis espectral o también bandas de absorción el CO es un potencial agente de síntesis, es perfecto como combustible y productor industrial.

## **5. DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)**

### 5.1 Descripción

Es un gas soluble en agua, acetona y etanol, se presenta principalmente en dos posibles estados o formas:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) líquido: se logra obtenerlo a temperaturas extremadamente grandes. En este compuesto la estructura de la molécula CO<sub>2</sub> es lineal, cada órgano se une a través de un doble enlace al átomo de carbono. Cuando se disuelve en agua da lugar al ácido carbónico.
- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) sólido: cuando se presenta en forma de estado sólido, el dióxido de carbono es llamado nieve carbónica. El nivel del dióxido de carbono en estado sólido se ha incrementado más de un 13% en el último siglo en la atmósfera. es utilizado en los gases medicinales y su implemento es muy habitual en la extinción de incendios.

El dióxido de carbono (fórmula química CO<sub>2</sub>) es un gas vital para preservar la vida en la Tierra siempre y cuando este se encuentre en cantidades normales en la atmósfera, también es conocido como anhídrido carbónico pero con el pasar del tiempo este nombre pasó a estar en desuso. El CO<sub>2</sub> encontrado en la naturaleza está compuesto

por dos átomos de oxígeno unidos mediante un enlace covalente al carbono y se lo encuentra en la atmósfera de la Tierra como un gas traza en una concentración alrededor de 0,04 % (400 ppm) en volumen.

Hay una gran cantidad de fuentes naturales de CO<sub>2</sub> como volcanes, aguas termales, géiseres, yacimientos de petróleo y gas natural. Es liberado por rocas carbonatadas al tener contacto con agua o ácidos, ocurriendo esto en aguas subterráneas, ríos, lagos, campos de hielo, glaciares y mares.

El CO<sub>2</sub> disperso en la atmósfera es la mayor fuente de carbón para la vida en la Tierra y su concentración antes del inicio de la revolución industrial, siendo más específicos; a inicios del Precámbrico tardío, era regulada por la única forma de vida en esos momentos (organismos fotosintéticos) y diferentes fenómenos geológicos que surgían con el tiempo. Como parte del ciclo del carbono, diferentes plantas, algas y cianobacterias utilizan la energía solar para foto sintetizar carbohidratos a partir de CO<sub>2</sub> y agua, en donde el O<sub>2</sub> liberado pasa a ser un desecho.

Por ser un gas activo que bajo condiciones específicas puede combinarse se lo aplica en la soldadura ya que actúa sobre el baño de fusión como un agente oxidante o reductor, al no sustentar el fuego se lo usa en extinguidores, en armas de aire comprimido al mantener la presión constante y como un generador de nuevos recursos para una mayor producción de crudo (petróleo). En forma líquida como solvente en la descafeinización siendo también un fuerte extracto de grasa de sustancias alimenticias como el chocolate y un secador supercrítico. Se agrega a las bebidas como la cerveza y gaseosas para

aumentar su efervescencia. A su forma sólida se la conoce como "hielo seco" y se usa como refrigerante y conservador de productos alimenticios o químico farmacéuticos.

En el campo de la electrónica se lo suele utilizar como solvente en soluciones para la limpieza de chips o al momento de probar diferentes aparatos climatológicamente a temperaturas bajas. En la medicina; al producir una atmósfera parecida a las condiciones fisiológicas es un buen manipulador de órganos artificiales, un excelente avivador de la respiración al mezclarse con el oxígeno y se lo suele usar en la dilatación abdominal para diferentes procesos quirúrgicos.

#### 5.1.2. Historia del dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas que ha existido desde tiempos inmemorables. En la era azoica la explosión de los volcanes emana dióxido de carbono y vapor de agua el cual caía sobre la superficie terrestre provocando que esta se enfriara dando paso al desarrollo vegetal y animal que hoy en día presenciamos, siendo regulado por los organismos fotosintéticos que aparecieron con el tiempo y diferentes fenómenos geológicos. Desde esos momentos ha existido un balance sumamente complejo entre este gas y su interacción con el planeta. En donde el CO<sub>2</sub> que era emanado por fuentes naturales como: la descomposición de plantas o animales, respiración de los animales y humanos, explosiones volcánicas e incendios forestales etc., era casi en su totalidad absorbido por las plantas y la cantidad sobrante se encargaba de absorber el calor proveniente del sol y mantener la temperatura del planeta para hacerlo habitable, que de no ser por ello el planeta sería un glaciar.

El estudio del CO<sub>2</sub> aparece con el tiempo y desarrollo de diferentes conceptualizaciones, fue uno de los primeros gases en ser explicado como una sustancia diferente del aire comúnmente observado, en el siglo XVII por el químico Jan Baptist Van Helmont representante sincrético de la alquimia y la química, quien observó que al combustionar carbón en un envase con una pequeña abertura, el sobrante (ceniza) luego de la reacción pesaba mucho menos que antes de hacerla. Y fue donde se dio cuenta que este gas no era leve, dándole el nombre de gas o espíritu Silvestre.

En 1750 el médico Joseph Black después de un sinnúmero de experimentos dio a conocer algunas propiedades del CO<sub>2</sub>, una de ellas fue que es un gas irrespirable, la obtuvo al observar que un ratón junto a una vela, dentro de un recipiente murió en el instante que esta se apagó, otorgándole un nuevo nombre que era; aire fijo. Observó que el aire fijo (CO<sub>2</sub>) tenía una mayor densidad que el aire y que no mantenía ni las llamas ni la respiración animal, propiedad que la obtuvo al tratar con piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>) que al ser expuesta al calor o rociada con ácidos emanaba un gas de estas características.

Posteriormente Black experimentó con una solución acuosa de cal, la cual al burbujear precipitaba dentro de ella carbonato de calcio, dicho fenómeno se utilizó para ilustrar que el (CO<sub>2</sub>) se da por la respiración tanto animal como humana y fermentación microbiana.

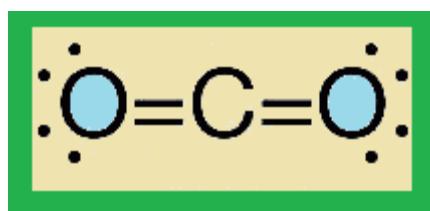
En 1772 se publicó un artículo titulado Impregnación de agua con aire fijo por el químico Inglés Joseph Priestley de nacionalidad británica en el que describía un proceso de goteo de ácido sulfúrico en tiza con el fin de producir dióxido de carbono. El (CO<sub>2</sub>)

producido lo disolvió en agua agitando el envase que contenía la mezcla para luego obtener agua carbonatada por primera vez mediante experimentos.

Poco después Humphry Davy y Michael Faraday contribuyeron con un nuevo conocimiento en el que se licuó por primera vez ( $\text{CO}_2$ ) a una elevada presión en 1823. Luego de 11 años Charles Thilorier dio la primer descripción del ( $\text{CO}_2$ ) en estado sólido la cual la obtuvo al hacer enfriar dióxido de carbono contenido en un envase a una alta presión y temperatura.

En los tiempos actuales se sabe demasiado sobre el  $\text{CO}_2$  y sus efectos adversos que provoca debido a su aumento en la atmósfera, pero lo que aún no se sabe es como detener estas excesivas cantidades que emanan diferentes industrias sin tener que detener su producción, si no buscar una alternativa en la cual salgan beneficiados los dos (el planeta y la producción industrial), en este caso se habla del embasamiento en cavidades subterráneas.

#### 5.1.3 Estructura molecular



*Ilustración 7. Estructura molecular del  $\text{CO}_2$*   
Fuente: elaboración propia (2017)

El átomo de carbono y oxígeno necesitan completar su último orbital con un total de 8 electrones para alcanzar mayor estabilidad, adquiriendo la configuración del gas noble antepuesto al periodo actual de dicho elemento, en este caso el Helio (He) y para

no tener más energía dispersa por el espacio se da un doble enlace con el cual se obtendrá una mayor estabilidad electrónica.

El átomo central de carbono al no tener pares de electrones libres y estar unido a dos átomos de oxígeno, la molécula de (CO<sub>2</sub>) es lineal. Una molécula lineal tiene un átomo central con dos átomos unidos a él mediante un enlace y separados por un ángulo de 180° siendo este el ángulo único que pueden, que de no ser por ello no sería una molécula lineal (Chang, 2010, p.421).

Tabla 2. *Clasificación de enlaces por diferencia de electronegatividades*

Diferencia de electronegatividad	Tipo de enlace
Menor a 0.5	Enlace covalente no polar
0.5-1.6	Enlace Covalente Polar
1.7-3.3	Enlace Iónico

Al basarnos en la tabla 1 podemos determinar qué tipo de enlace presenta la molécula restando sus electronegatividades, en este caso la del oxígeno y carbono; al finalizar la diferencia obtenemos un valor de 0.89, concluyendo que presenta un enlace covalente polar al estar dentro de su rango.

En caso de ser una molécula compleja se recomienda analizar su forma geométrica en la cual se procede a sumar vectorialmente las diferentes fuerzas de enlace que actúan sobre el átomo central y estas al anularse o no respectivamente nos ayudan a determinar si es una molécula no polar o polar (Chang, 2010, p.421).

#### 5.1.4 Propiedades físicas y químicas

Actualmente se conoce que el carbono puede formar millones de compuestos que son importantes para la existencia de la vida como por ejemplo aminoácidos, proteínas, etc. Pero también forman moléculas que generan importantes cambios a nivel geológico como por ejemplo el dióxido de Carbono. (Black, 1750) Un físico y químico escocés, descubrió el dióxido de carbono.

- A temperatura ambiental (20-25 °C), el dióxido de carbono es un gas inodoro e incoloro, ligeramente ácido y no inflamable.
- El dióxido de carbono es una molécula con la fórmula molecular CO<sub>2</sub>. Esta molécula linear está formada por un átomo de carbono que está ligado a dos átomos de oxígeno, O = C = O.
- A pesar de que el dióxido de carbono existe principalmente en su forma gaseosa, también tiene forma sólida y líquida.
- Solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los 78 °C.
- El dióxido de carbono líquido existe principalmente cuando el dióxido de carbono se disuelve en agua.
- El dióxido de carbono solamente es soluble en agua cuando la presión se mantiene.
- Cuando la presión desciende intentará escapar al aire, dejando una masa de burbujas de aire en el agua.

Tabla 3. *Propiedades del dióxido de carbono.*

Propiedad	Valor
<i>Masa molecular</i>	44.01
<i>Gravedad específica</i>	1.53 a 21 °C
<i>Densidad crítica</i>	468 kg/m <sup>3</sup>
<i>Concentración en el aire</i>	370,3 * 10 <sup>7</sup> ppm
<i>Estabilidad</i>	Alta
<i>Líquido</i>	Presión < 415.8 kPa
<i>Sólido</i>	Temperatura < -78 °C
<i>Constante de solubilidad de Henry</i>	298.15 mol/ kg * bar
<i>Solubilidad en agua</i>	0.9 vol/vol a 20 °C

Fuente: Lenntech

### 5.1.5 Gas de efecto invernadero

El CO<sub>2</sub> es un gas participante en la composición de la capa atmosférica con la común característica de absorber y emitir radiación dentro del rango infrarrojo, considerándose por ello un gas de efecto invernadero. Hay una gran cantidad de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera como el vapor de agua, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono, todos estos con la común función de mantener la temperatura

del planeta en cantidades específicas o normales, que de no ser por ellos el planeta adquiriría una temperatura de -18 °C en lugar de la medida actual que es de 15°C.

Las actividades humanas han causado una gran alteración en la cantidad normal que se debería presentar el CO<sub>2</sub> en el atmosfera, específicamente al iniciar la revolución industrial en el año 1750 se produjo un incremento del 30% en la concentración del CO<sub>2</sub> en la atmosfera. Este enorme crecimiento con el pasar del tiempo sigue aumentando a pesar de la absorción de una gran porción de las emisiones por varios depósitos naturales que son parte del ciclo del carbono.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> que se dan en mayor cantidad son por la quema de combustibles fósiles, principalmente carbón, petróleo y gas natural, además de la deforestación, la erosión del suelo y la crianza animal.

Si las emisiones de CO<sub>2</sub> continúan al mismo ritmo como se han venido dando, se estima que en 20 años la temperatura superficial del planeta aumente en 2 °C con efectos notoriamente dañinos en los ecosistemas, la biodiversidad y la subsistencia de personas en todo el mundo. (Castañeda, 2010, p.07)

#### 5.1.4.1. Efecto invernadero

La atmósfera al no ser muy densa e invisible es muy susceptible a la luz visible y mucho más a la radiación infrarroja la cual tiende a absorber este calor y mantenerlo por un tiempo, característica similar a la de un campo invernadero (o invernáculo)el cual es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la agricultura de una manera acelerada, se encuentra cubierto por un plástico transparente y en otras ocasiones por

vidrio que permite el control de la humedad, la temperatura y otros factores ambientales que aceleran el crecimiento de las plantas. Pero no se parece en su totalidad ya que en un invernadero se puede controlar o manejar la temperatura, siendo todo lo contrario en el planeta el cual presenta estas condiciones de forma natural.

La luz solar que llega directamente a la superficie terrestre o del invernadero calienta el suelo, produciendo en este la emanación de ondas caloríficas las cuales a contrario de los rayos luz son absorbidas en mayor cantidad por el vidrio o la atmósfera. Esta energía emitida hacia el espacio es la misma que la atraída, pero la tierra tiene una característica en donde equilibra los dos flujos, siendo más alta en presencia de una atmósfera (en un planeta) o de techos de cristal (en donde más se conserva el calor por la falta del flujo de aire) (vega, 2011, p.21).

Este efecto invernadero en su totalidad no es malo si no imprescindible para mantener la temperatura del planeta, pero debido a la excesiva cantidad de CO<sub>2</sub> que se emana, tiende a traer consecuencias muy negativas que podrían alterar notoriamente los diferentes ecosistemas de la tierra, produciendo sequias, extinción de una gran cantidad de especies etc.

Este efecto negativo de la excesiva cantidad de gases de efecto invernadero no solo esta presenta en nuestro planeta si no en gran parte de los que pertenecen al sistema solar y están dotados de una atmósfera. A causa de estos gases en la tierra hay un exceso de 33°C de la temperatura superficial es decir sin ellos tendríamos una temperatura de -18°C, pero en Marte la diferencia es de tan solo 3 °C y esta se ha mantenido durante muchos tiempo ya que no hay factores que intervengan para un aumento de gases de

efecto invernadero y en Venus al presentarse en mayor cantidad gases de efecto invernadero y estar más cerca al sol se alcanza una diferencia mucho más alta de 466 °C.

#### 5.1.4.2. CO<sub>2</sub> absorbe y re-emite radiación infrarroja

El dióxido de carbono gaseoso que se encuentra en la atmósfera al estar en contacto directo con Los rayos gamma, una gran parte de rayos ultravioleta y rayos infrarrojo, procedentes del espacio exterior como también La luz visible, las ondas de radio y unos pocos pequeños rangos de longitudes de onda que emana cualquier cuerpo el cual este a una temperatura diferente de -273 grados Celsius (temperatura a la cual todos los desplazamientos moleculares han cesado) es absorbido por diferentes gases de efecto invernadero que se encuentran en la atmósfera en diferentes cantidades. Todos estos con el simple hecho de mantener la temperatura del planeta y la estabilidad de sus ecosistemas. Para quedar más claro la radiación infrarroja térmica no es más que la medida de calor de las ondas que emana un cuerpo con una temperatura superior a - 273C.

Pero el CO<sub>2</sub> tiene algo diferente a los demás gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera terrestre como el vapor de agua (H<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y ozono (O<sub>3</sub>). Dicha característica hace referencia a su cantidad la cual con el pasar del tiempo se ha incrementado de manera excesiva por la actividad del hombre y lo seguirá haciendo si no se hace algo al respecto, pasando todo lo contrario con los demás gases que su producción es natural o en algunos casos por procesos industriales del hombre, en cantidades muy irrelevantes.

Las moléculas de CO<sub>2</sub> al absorber un fotón infrarrojo tiende a vibrar por un lapso de tiempo indeterminado hasta que lo expulse (absorber y emitir energía infrarroja), es por ello que se caracteriza al CO<sub>2</sub> como un gas de efecto invernadero y a la vez lo hace diferente de los demás componentes de la atmósfera por no poder hacerlo de dicha manera como el H y O que conforma su 90%.

## 6. Disoluciones del gas dióxido de carbono

El Dióxido de carbono es soluble en el agua, lo que suele observarse separado como gas, cuando el dióxido de carbono se mezcla con el agua se convierte en ácido carbónico acuoso, este proceso de dióxido de carbono en una disolución es representado por la siguiente reacción química:



Ec.4

El ácido carbónico es bien soluble por lo que el dióxido de carbono se disuelve rápido en el agua. Un proceso de disolver dióxido de carbono en agua es la carbonización, este proceso por lo general envuelve el uso de dióxido de carbono bajo la presión, cuando la presión reduce, el dióxido de carbono es liberado desde la disolución como pequeñas burbujas, que se conoce como efervescencia.

El dióxido de carbono disuelto a una presión de 2 a 5 atmosferas es lo que produce las efervescencias en las bebidas gaseosas, también incluyendo las cervezas, champañas. Otra disolución del dióxido de carbono es para fabricar carbonato de sodio, lo que nos sirve para lavar.

En fuentes naturales como volcanes, aguas termales, se encuentra el CO<sub>2</sub>, este es liberado por las rocas carbonatadas al diluirse en agua y ácidos, esto es debido a que el CO<sub>2</sub> si es soluble en el agua, ocurre naturalmente en aguas subterráneas, campos, mares.

## **7. Secuestro de co<sub>2</sub>.**

Con el fin de evitar que las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera se eleven a niveles inaceptables, el dióxido de carbono puede separarse del gas de combustión, por ejemplo, una central eléctrica y posteriormente secuestrarse. Se han propuesto diversas tecnologías para el secuestro de dióxido de carbono, tales como almacenamiento en campos de gas empobrecido, océanos y acuíferos. Una ruta de secuestro alternativa es la llamada ruta de "retención de CO<sub>2</sub> mineral" en la cual el CO<sub>2</sub> se almacena químicamente en carbonatos sólidos por la carbonatación de minerales. Como material de alimentación mineral, se pueden usar rocas ricas en silicatos alcalinos térreos. Los ejemplos son olivina (MgSiO<sub>4</sub>) y wollastonita (CaSiO<sub>3</sub>). El secuestro de CO<sub>2</sub> mineral tiene algunas ventajas fundamentales en comparación con otras rutas de secuestro.

Los productos formados son termodinámicamente estables y por lo tanto el secuestro de CO<sub>2</sub> es permanente y seguro. Además, la capacidad de secuestro es grande debido a que hay grandes depósitos de materias primas adecuados disponibles en todo el mundo. Finalmente, las reacciones de carbonatación son exotérmicas y se producen espontáneamente en la naturaleza. Sin embargo, las velocidades de reacción del proceso en condiciones atmosféricas son demasiado lentas para un proceso industrial. Por lo tanto, la investigación se centra en el aumento de la tasa de reacción con el fin de obtener un proceso industrial viable.

La optimización de las condiciones del proceso está limitada por la termodinámica del proceso. Aumentar la temperatura y la presión de CO<sub>2</sub> acelera la velocidad de reacción, pero el CO<sub>2</sub> gaseoso es favorecido sobre los carbonatos minerales a altas temperaturas.

El uso de agua u otro disolvente para extraer el componente reactivo de la matriz acelera el proceso.

El pretratamiento del mineral mediante la reducción del tamaño y la activación térmica o mecánica y la optimización de la química de la solución dan lugar a mejoras importantes de la velocidad de reacción. Durante los últimos años, los experimentos a escala de laboratorio han demostrado mejoras importantes de las tasas de conversión mediante el desarrollo de diversas vías de proceso y la optimización de las condiciones del proceso. La ruta más prometedora disponible parece ser la vía acuosa directa, para la cual se han mostrado velocidades de reacción razonables en condiciones de proceso viables.

Aspectos importantes del secuestro de CO<sub>2</sub> mineral son el transporte de los materiales involucrados y el destino de los productos. Los costos de transporte pueden minimizarse transportando el dióxido de carbono hacia una planta de secuestro mineral situada cerca de la mina de alimentación. Los productos carbonatados se pueden utilizar para la recuperación de minas y las aplicaciones de construcción.

Desafortunadamente, sólo se han publicado algunas estimaciones aproximadas de los costos y no existen en la literatura análisis detallados de los costos de las rutas de proceso más prometedoras. Por lo tanto, en la actualidad, no hay suficiente conocimiento para concluir si un proceso rentable y enérgicamente aceptable será factible.

El secuestro de carbono mineral es una opción a más largo plazo en comparación con otras rutas de secuestro, pero sus ventajas fundamentales justifican la investigación

adicional. Los principales problemas que deben resolverse para permitir una implementación a gran escala son el consumo de energía del proceso, las tasas de reacción y el impacto ambiental del secuestro de CO<sub>2</sub> mineral. Por último, se reconoce el uso de desechos sólidos alcalinos como materia prima alternativa para el calcio o el magnesio y merece una mayor investigación. (J.C. Chau) (2004)

Las técnicas de captura de dióxido de carbono, tales como lavado de aminas para tratar gases de combustión de generadores eléctricos a base de combustibles fósiles y tecnologías de absorción de membranas, tamices moleculares y desecantes. Se ha ilustrado que estas técnicas de captura y secuestro no son económicamente viables.

El secuestro de dióxido de carbono demostró ser un problema desafiante. Técnicas de inyección geológica y oceánica han sido ilustradas y explicadas como no sostenibles. Se ha explicado que el proceso natural de fotosíntesis, que puede utilizarse para fijar el dióxido de carbono y producir subproductos útiles de manera sostenible, es viable, y el diseño de un sistema foto-biorreactor activado por energía solar para la fijación de dióxido de carbono Fue ilustrado como técnicamente factible.

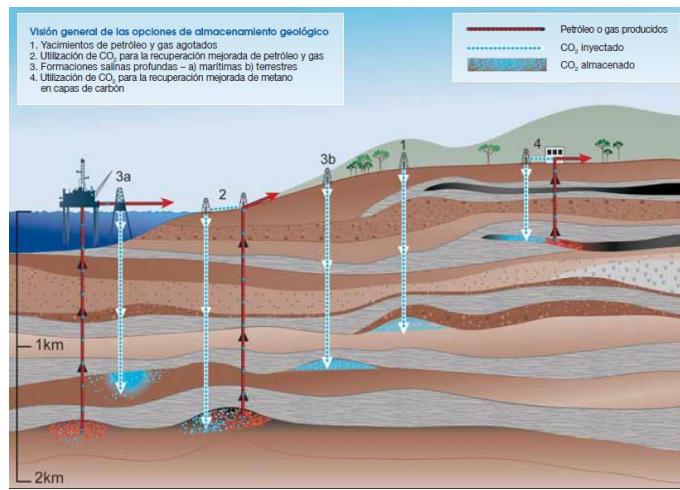
Se ha ilustrado que un estanque de 4000 m<sup>3</sup> bajo los ciclos naturales de exposición a la luz diaria podría secuestrar hasta 2,2 ktonne de CO<sub>2</sub> por año. La etapa inicial para una operación de secuestro de CO<sub>2</sub> a gran escala sería diseñar un sistema fotobiorreactor a escala de laboratorio. El sistema haría uso de un proceso natural mediante el cual los microorganismos fijan fotosintéticamente el dióxido de carbono en productos útiles de biomasa, oxígeno e hidrógeno.

Los principales componentes de este sistema energizado solar son la recogida, transmisión y entrega de la energía luminosa recogida. Con base en la información de la revisión de la literatura, el sistema de recogida puede consistir en un dispositivo de concentración solar tal como un dispositivo de lente de Fresnel o un concentrador parabólico/ de canal. La forma más eficaz y eficiente de transmitir esta luz sería mediante el uso de una red de fibra óptica. La entrega de esta energía luminosa al reactor dependería principalmente de las dimensiones del reactor.

Un diseño eficaz es el de la fibra óptica ligada a una pirex ahusada o placa de vidrio que dispersaría la luz a lo largo de la superficie de la placa. En comparación con otras opciones de mitigación de gases de efecto invernadero, como la fecundación oceánica, la inyección oceánica o geológica, la solución fotosintética cuando se amplía presentaría una sostenible tanto en el plano medio ambiental como económico.

### 7.1. Inyección co<sub>2</sub>

Cuando se inyecta CO<sub>2</sub> en formaciones geológicas profundas, se desplaza líquido poroso. Dependiendo de las propiedades del fluido, el CO<sub>2</sub> es miscible, es decir, puede mezclarse completamente para formar una única fase líquida, o inmiscible, de modo que las fases permanecen separadas. En las condiciones esperadas para el secuestro, el CO<sub>2</sub> y el agua son inmiscibles. El aceite y el CO<sub>2</sub> pueden o no ser miscible, dependiendo de la composición del aceite y la presión de formación. El CO<sub>2</sub> y el gas natural son miscibles cuando los fluidos son miscibles, el CO<sub>2</sub> eventualmente desplaza casi todo el líquido original.



*Figura 8. Ilustración de la inyección del CO<sub>2</sub>*

Recuperado de Centro de Investigación Cooperativa de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>CRC)

Al ser introducido el carbono en la superficie terrestre a casi 2m de profundidad (Ilustración 8), se espera que este se mantenga ahí por un largo plazo en donde este se quede completamente retenido sin hacer ningún daño al ecosistema, pero a pesar de que la introducción de carbono a la superficie de la Tierra u océanos es una idea bastante interesante, se debe tomar en cuenta las repercusiones que este llegaría a pasar, puede que esto logre causar un impacto aún mayor en la superficie creando un fenómeno, el cual afecte a todo el mundo.

## 7.2 Consecuencias de la inyección multifásica

En primer lugar, la fracción del poro en el espacio que puede ser llenado con CO<sub>2</sub> está limitado por la dinámica del flujo y la presión capilar resultante de la interacción de dos o más fases. Como máximo, alrededor del 30% del espacio de poros se llena con CO<sub>2</sub> durante el desplazamiento inicial.

En la práctica, es probable que la saturación de CO<sub>2</sub> sea aún menor debido a la flotabilidad y la heterogeneidad geológica, que causan que las porciones de la formación sean puenteadas. Después de que se haya detenido la inyección, el CO<sub>2</sub> continúa moviéndose y la saturación de fluidos se aproxima al equilibrio, que se determina por la presión capilar de la roca y la diferencia de densidad entre CO<sub>2</sub> y los fluidos originales.

La segunda consecuencia del flujo multifásico es que la movilidad del CO<sub>2</sub> es limitada durante el periodo de post-inyección. Cuando la saturación de CO<sub>2</sub> disminuye, tal como puede ocurrir después de que la inyección se detiene, una cierta fracción donde la saturación residual se encuentra inmovilizada en la roca, atrapados por capilaridad efectivo. El agua es embebida (suctionada) de nuevo en el poro Espacio (Juanes et al., 2006, Hesse et al., 2008).

La tercera consecuencia importante en un flujo multifásico es que los sellos tienen dos mecanismos para atrapar CO<sub>2</sub> en el volumen del secuestro. Las capas de sellado son típicamente de textura fina, rocas de barro o rocas carbonatadas, que tienen baja permeabilidad para cualquier fluido. Los caudales a través de un sello pueden ser muy lentos mientras los pequeños espacios de poros tienen capilares varias presiones de entrada, lo que hace que la roca actúe como una membrana que permite el paso del agua pero bloquea el CO<sub>2</sub> a menos que su presión excede la presión de entrada capilar.

## GLOSARIO

- **Antracita** Carbón fósil que posee aspecto obscuro y que tiende a arder con dificultad.
- **Molienda** Consiste en moler granos o cualquier otra sustancia dura o fibrosa
- **Anisotrópicas** Es la propiedad que presentan algunas sustancias para cambiar determinadas propiedades según la dirección en que éstas sean medidas.
- **Espectral** El análisis espectral se refiere al estudio de los espectros de emisión y de absorción
- **Hulla** Es un carbón de tipo natural, negro y brillante, con alrededor de un 75-90% de carbono.
- **Lignito** Carbón mineral fósil, que por lo general es poco bituminoso y un combustible de mediana calidad.
- **Turba** Carbón mineral de aspecto terroso, formado por la acumulación de restos vegetales en sitios pantanosos
- **Coque** Residuo que resulta de la destilación de los carbones, en especial de la hulla. El coque se usa en la industria de múltiples maneras como por ejemplo combustible y como reductor de óxidos metálicos
- **Cap-Rock** Capa de roca que es impermeable a la migración de gas natural o de petróleo, y que recubre una "roca del yacimiento" más porosa, rica en esas sustancias.
- **Flotabilidad** Capacidad que ostenta un cuerpo de mantenerse dentro de un fluido.
- **Flujo multifásico** Es el movimiento de gas libre y de líquido, el gas puede estar mezclado en forma homogénea con el líquido o pueden existir formando un

oleaje donde el gas empuja al líquido desde atrás o encima de él, provocando en algunos casos crestas en la superficie del líquido

- **Capilaridad** Propiedad en virtud de la cual la superficie libre de un líquido puesto en contacto con un sólido sube o baja en las proximidades de este, según que el líquido lo moje o no.
- **Destilación** Es el proceso de separar las distintas sustancias que componen una mezcla líquida mediante vaporización y condensación selectivas
- **Hemoglobina** Pigmento rojo contenido en los hematíes de la sangre de los vertebrados, cuya función consiste en captar el oxígeno
- **Hulla** Carbón mineral de color negro y brillo mate o graso, que procede de sedimentos enterrados.
- **Tamiz** Es una malla metálica constituida por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el alimento previamente triturado.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Benson SM, Hoversten M, Gasperikova E, Haines M (2005) Monitoring protocols and life-cycle costs for geologic storage of carbon dioxide. In: Wilson M, Rubin ES, Keith DW, Gilboy CF, Morris T, Thambimuthu K, Gale J (eds) Proceedings of the 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, Elsevier, pp 1259-1265 Visitado. 22-11-2016.
- Cabrera N. (2004) Química Universitaria. Ed. Elemental. Visitado 2016.
- Castañeda, A. (2010). El vivir bien como respuesta a la crisis global. Visitado. 02-12-2016.
- Chang, R. (2010). Química, 10<sup>a</sup> ed McGraw-Hill, México. Visitado. 10-12-2016.
- Cortés (2010) Capacidad increíble del  $CO_2$ . Ed. La vanguardia. Visitado 2016.
- Cortés, V. (2010) Carbón Visitado 20-Diciembre-2016.
- D. A. Jones.(2002) Greenhouse Gas control. Visitado 2016.
- Elsevier B.V. (24 mayo 2016) Artículo. Geological CO<sub>2</sub>sequestration in saline aquifers. ELSEIVER. Visitado. 18-12-2016.
- Gallego, Agustín, Rodríguez & López (2015) libro Huella del Carbono. Conceptos básicos. Ed. 1 AENOR. Visitado 2016.
- Hovorka SD and 11 coauthors (2006) Environmental Geosciences Visitado. 24-11-2016.

J. Zambrano (2012) Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Web.  
<http://www.greenfacts.org.es/captura-alamacenamiento/CO2-Co2/2-1.html> Visitado.  
(2016).

J. C. Chow (2004) Separation and Capture of CO<sub>2</sub> from Large Stationary Sources and Sequestration in Geological Formations. Visitado. 18-Diciembre-2016.

Juanes R, Spiteri EJ, Orr Jr FM, Blunt MJ (2006) Impact of relative permeability hysteresis on geological CO<sub>2</sub> storage. Visitado. 22-11-2016.

Kharaka YK, Cole DR, Hovorka SD, Gunter WD, Knauss KG, Freifeld BM (2006a) Gas-water-rock interactions in Frio Formation following CO<sub>2</sub> injection: Implications for the storage of greenhouse gases in sedimentary basins. Visitado. 22-11-2016.

Martín, JP. (2004) El carbono y su rol en nuestras vidas Ed. 2. Visitado 2016.

Mitchell, A. (2010) Microbially enhanced carbón captureand storage by minela-trapping. Visitado 2016.

Michael R. (2008) Efecto gas invernadero. Página web:  
[http://es.teoríaCO2/Gas\\_efecto\\_invernadero.com](http://es.teoríaCO2/Gas_efecto_invernadero.com).

Morozava. (2010) Basin-scale hydrogeologic impacts of CO<sub>2</sub>.

Osuna, Robles & Guillermo (2009) libro Química del carbono. DGEP. Historia, propiedades. Visitado 2016.

Timberlake (2008) Química México pearson Educación.

Vega, L. (2011). El CO<sub>2</sub> como recurso. Barcelona-España. Visitado. 27-11-2016.

## Indice de Ilustraciones

Ilustración 1. Vasilevna Kharissova *la estructura del fullereno C60 y sus aplicaciones* (2006)

Ilustración 2

Ilustración 3. *Fulereno C540 Vasilevna Kharissova la estructura del fullereno C60 y sus aplicaciones* (2006)

Ilustración 4. *Alótropos del Carbono Climent Olmedo Química para ingeniería* (2013)

Ilustración 5. *La estructura del metano, se puede explicar Combinando un orbital s de cada uno de los 4 Hidrógenos con cada orbital híbrido Sp<sup>3</sup> del Carbono.* Fuente: Ernest . Hibridación in situ. (2000)

Ilustración 6. *Principales estructuras del Carbono* Fuente: Paulo A. (2013)