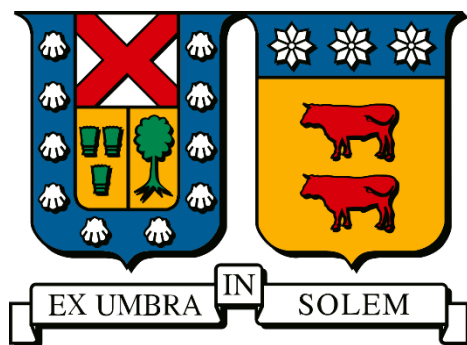


UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
DEPARTAMENTO DE QUIMICA Y MEDIO AMBIENTE
CONCEPCION, CHILE



Proceso de captura y almacenamiento de CO₂

Trabajo de título para optar al título de técnico universitario en química,
mención química industrial

Alumna:

Alexandra Orfelina Roa Villalón

Profesor guía:

Cristian Pereira Aburto

2022

Resumen

El carbón es uno de los combustibles fósiles que más se utilizan para la producción de energía, y para diferentes actividades industriales y domésticas. Se estima que el carbono constituye 0.032% de la corteza terrestre. Si bien, el uso de este combustible produce emisiones perjudiciales para el medio ambiente, podemos encontrar como uno de los derivados del carbón, el CO₂, el cual se encuentra en una proporción de 380 partes por millón en la atmósfera y quien es también un producto importante de la combustión siendo también un gas de efecto invernadero.

Se han propuesto diferentes tecnologías con el objetivo de disminuir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Una de las alternativas consiste en el uso de una alta concentración de O₂, casi libre de nitrógeno, durante la combustión para obtener gases de escape con alto contenido de CO₂, lo que puede facilitar su separación.

Indice

1. Objetivos	5
1.1 General.....	5
1.2 Especifico.....	5
2. Simbología	6
3. introducción	7
4. Conceptos básicos	9
a) Cambio climático	9
b) Efecto invernadero.....	9
c) Huella de carbono.....	9
d) Polución	9
e) Gases efecto invernadero	10
5. Historia del CO₂	12
6. Importancia del CO₂	14
6.1 Ciclo del CO ₂	15
6.1.1 Fotosíntesis y respiración, ciclo rápido	16
6.1.2 Proceso oceánico, ciclo rápido.....	18
6.1.3 Ciclo de roca.....	19
7. Tipos de fuentes de CO₂ y criterios de sustentabilidad aplicados	20
7.1.1 intensidad de emisiones.....	21
7.1.2 inevitabilidad de emisiones	21
8. Tecnologías para captura de CO₂	22
8.1 Precombustion.....	23
8.2 Oxidcombustión	23
8.3 Postcombustión.....	24
8.3.1 procesos de postcombustión	25
9. Houston CCS Alliance	31
10. Climeworks	34
11. Ventajas y desventajas de CO₂	37
12. Captura y almacenamiento de CO₂	41
13. Impacto Medio ambiental de CO₂	43

14. El incremento del CO₂ en los últimos años	46
15. Conclusión	48

1. Objetivo

1.1 *Objetivo general*

Comprender los diferentes uso del dióxido de carbono y cómo podemos reducir sus emisiones al medio ambiente.

1.2 *Objetivos específicos*

- Historia de CO₂
- Importancia que tiene este gas en diferentes ámbitos.
- Identificar tecnologías para captura de CO₂
- Conocer cómo se puede capturar el CO₂
- Ventajas y desventajas de la captura de CO₂
- Comprender los efectos de este gas hacia el medio ambiente

2. Simbología

- CO₂: dióxido de carbono
- NO: óxido de nitrógeno (II)
- N₂O: óxido de nitrógeno (I)
- NO_x: óxidos de nitrógeno
- Gton CO₂ e: gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente
- GEI: Gases de efecto invernadero
- PIB: Producto Interior Bruto
- CH₄: Gas metano
- N₂O: Óxido nitroso
- O₃: Ozono
- CFC: Clorofluorocarbonos
- F: flúor
- Cl: cloro
- Ppm: partes por millón
- ATP: trifosfato de adenosina
- CaCO₃: carbonato cálcico
- K_p: constante de equilibrio
- P: Fosforo
- Ca: Calcio
- Ar: argón
- He: Helio
- Pd: paladio
- CLC: combustión en bucle químico
- CAC: Captura y almacenamiento de CO₂
- SiO₂: oxido de silicio
- TiO₂: oxido de titanio
- GO: oxido de grafeno

3. Introducción

Desde la prehistoria la humanidad ha sentido la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía y con ello poder evolucionar, con la aparición del fuego empieza el acceso a la energía lo que permitió a los humanos poder defenderse de las amenazas y poder cocinar sus alimentos. Siguiendo la evolución aparecen los que se denomina grupos agrarios, se denominan así a grupos de humanos que se concentraban en la agricultura y con ello llevo al aprovechamiento del viento y el agua a través de los molinos lo que les ayudaba a facilitar el trabajo, también lo aprovechaban para el transporte en barcos. Y por último tenemos la industrialización en el que se descubre el potencial de los combustibles fósiles. Tenemos varios tipos de fuentes de energía por ejempló: *fuentes renovables*, estas abarcan a todas aquellas que son capaz de producir electricidad mediante la explotación de fuentes de energía limpia, sostenible y que se renuevan con el tiempo, entre ellas se encuentran la energía solar, térmica, hidroeléctrica, entre otras y las *fuentes no renovables* son aquella que se obtiene a partir de un recurso natural escaso y limitado por lo que no se puede renovar, de las cuales tenemos, el carbón, el petróleo, el gas natural y la energía nuclear . De los mencionados anteriormente, el carbón y el petróleo han sido utilizados principalmente desde la Revolución Industrial.

A nivel mundial, el carbón fue la fuente más empleada en la última década, según las cifras de consumo energético mundial en el año 2014 el carbón suple casi un 30% de la demanda energética global, y es muy probable que este combustible continúe en esta importante posición ya que es abundante y ampliamente distribuido en la superficie de la tierra.

El principal problema asociado con el uso de carbón está relacionado con las emisiones que se generan, cuyos principales coparticipes son el material particulado, los óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno son gases que pueden causar lluvia ácida. El NO contribuye a la formación de smog fotoquímico, el N₂O está involucrado indirectamente en el deterioro de la capa de ozono y junto con el CO₂ son gases de efecto invernadero.

El CO₂, también denominado anhídrido carbónico, es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene constante y normalmente se encuentra en la naturaleza en forma gaseosa, pero

cuando se le somete a una presión y temperatura considerable baja se vuelve líquido y llega a ser sólido formando lo que se denomina hielo seco o nieve carbónica. Este es, entre todos los gases de efecto invernadero de la atmósfera, el que despliega un mayor control sobre el clima de la Tierra. Aunque los efectos del dióxido de carbono sobre la atmósfera se conocen desde hace más de un siglo, su papel principal en el calentamiento climático.

De manera natural, la atmósfera está compuesta en un 78.1% de N, un 20.9% de O, y el restante 1% por otros gases, entre los que se encuentran el Ar, He, y algunos gases de efecto invernadero, como el CO₂ (0.035%), el CH₄ (0.00015%), N₂O (0.0000016%) y el vapor de agua (0.7%).

Las principales causas del aumento de las emisiones de CO₂ son las actividades humanas. Al haber incrementado la población mundial, cada vez son mayores los requerimientos en energía, que se producen fundamentalmente por el uso de los combustibles fósiles, que producen importantes emisiones. La segunda actividad que más emisiones produce es el transporte y luego hay otras como la ganadería o la agricultura que también contribuyen.

Lo que le da origen a la idea de un cambio y mejora de la contaminación del medio ambiente a causa de estos gases. Es por eso por lo que en este trabajo se dará a conocer una iniciativa para la captura y almacenamiento de CO₂.

4. Conceptos básicos

a. Cambio Climático

Es definido como un cambio estable y durable en la distribución de los patrones del clima en periodos de tiempo que van desde décadas hasta millones de años. atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, y que altera la composición de la atmósfera. Pudiera ser un cambio en las condiciones climáticas promedio o la distribución de eventos en torno a ese promedio (por ejemplo: eventos climáticos extremos). El cambio climático puede estar limitado a una región específica o abarcar toda la superficie terrestre.

b. Efecto Invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno por el cual los gases que se encuentran en la atmósfera retienen el calor emitido por la Tierra. Este calor proviene de la radiación solar natural, pero cuando rebota sobre la superficie terrestre queda atrapado por la barrera de los gases. Al quedarse estos gases entre suelo y atmósfera, sin quedar liberarse al espacio, el efecto producido a escala planetaria es muy similar al de un invernadero.

c. Huella de carbono

La huella de carbono se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones, productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO₂ equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos. Esta nace como una medida de cuantificar y generar un indicador del impacto que una actividad o proceso tiene sobre el cambio climático, más allá de los grandes emisores.

d. Polución

Es la introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio ambiente, que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso.

Contaminación intensa y dañina del agua o del aire, producida por los residuos de procesos industriales o biológicos. Registrándose un mayor aumento en algunas zonas como los polos o el arco mediterráneo.

e. Gases de Efecto Invernadero

Se le denominan gases de efecto invernadero (GEI) a los gases cuya presencia en la atmósfera contribuyen al efecto invernadero. Los más importantes están presentes en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto algunos gases artificiales, resultado de los procesos industriales. Los gases implicados son los siguientes:

(i) Vapor de agua

Es un gas que se obtiene por evaporación o ebullición del agua líquida o por sublimación del hielo. Es inodoro e incoloro. Es un gas traza (gas presente en baja cantidad en una mezcla, exactamente, menos de 1% por volumen de la atmósfera de la Tierra), cuyas proporciones son muy variables, tanto en el espacio como en el tiempo, y el principal gas de efecto invernadero terrestre, aunque a diferencia de lo que pasa con el CO_2 , no está aumentando su concentración. El vapor de agua es responsable de la humedad ambiental.

(ii) CO_2

Es un gas cuyas moléculas están compuestas por dos átomos de oxígeno y uno de carbono. gas incoloro, denso e inodoro que tiene ligero sabor a ácido.

(iii) CH_4

Es el hidrocarburo alcano más sencillo, Es una sustancia que se presenta en forma de gas a temperaturas y presiones ordinarias. Es incoloro e inodoro y apenas soluble en agua en su fase líquida. En la naturaleza se genera como producto final de la putrefacción anaeróbica de las plantas.

(iv) NO_x

Es un término genérico que hace referencia a un grupo de gases muy reactivos (tales como el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2)) que contienen nitrógeno y oxígeno en diversas proporciones.

Se aplica a varios compuestos químicos gaseosos formados por la combinación de oxígeno y nitrógeno. El proceso de formación más habitual de estos compuestos inorgánicos es la combustión a altas temperaturas.

(v) O_3

El ozono es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos

que componen el gas oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno gaseoso, formando moléculas de ozono

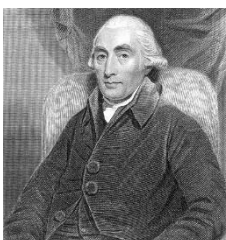
(vi) CFC

Es cada uno de los derivados de los hidrocarburos saturados obtenidos mediante la sustitución de átomos de hidrógeno por átomos de F y/o Cl principalmente, son compuestos altamente estables producido como un derivado volátil de metano y etano. Es causante de la destrucción de la capa protectora de ozono debido a su persistencia en la atmosfera.

Es no toxico, se emplea en múltiples aplicaciones. Principalmente en las industrias de la refrigeración y de propelentes en aerosol.

5. Historia de CO₂

Hoy en día, el dióxido de carbono tiene infinidad de usos, y muy diferentes. Lo podemos encontrar en forma de gas, líquido o soluble, en niveles diferentes de concentración o mezclado con otros gases, es indispensable en la industria alimentaria, en procedimientos médicos, como refrigerante y hasta para la creación de efectos especiales. Pero ¿sabemos realmente como y quien descubrió el dióxido de carbono?



Joseph Black (16 de abril 1728 - 10 noviembre 1799)

Físico y químico británico. Impartió anatomía y química en la Universidad de Glasgow, y pasó luego a la Universidad de Edimburgo (1766), donde enseñó química.

En un primer momento, Black estudio idiomas y filosofía, pero pronto se matriculó en medicina y anatomía.

Este catedrático de medicina y profesor de química descubrió el dióxido de carbono (20-25 °C) en 1754. En aquel entonces Joseph Black era un químico e investigador que gozaba de un gran prestigio.

A pesar de que el CO₂ existe principalmente en su forma sólida y líquida. Solo puede ser sólido a T° por debajo los 78 °C. El CO₂ líquido existe principalmente cuando este se disuelve en agua. Es soluble en agua cuando la presión se mantiene. cuando la presión desciende intentara escapar al aire, dejando una masa de burbujas de aire en el agua. su masa molecular es de 44.01g/mol.

Unos años antes de descubrir el dióxido de carbono, había inventado la balanza analítica. Esta, por su precisión para medir masas muy inferiores a un gramo, se convirtió de inmediato en un instrumento imprescindible en los laboratorios de química de aquella época y ha llegado a nuestros días evolucionada en forma de avanzadas balanzas digitales.

Black descubrió un gas que se generaba al calentar CaCO₃ y que era diferente al aire. Un gas que él decidió bautizar como 'aire fijo'. Sus investigaciones no quedarían ahí. observando que se desprendía en la combustión de carbón, en la respiración y en la fermentación; con ello contribuyó, sin proponérselo, a desacreditar la teoría del flogisto, sustancia hipotéticamente contenida en los cuerpos que supuestamente se liberaba en los procesos de combustión.

Estudió a profundidad sus propiedades y su actividad química y pronto llegó a la conclusión de que se trataba de un gas irrespirable. Lo

hizo con un experimento tan sencillo como efectivo: introdujo un ratón y una vela encendida en una caja con dióxido de carbono. El primero murió y la segunda se apagó: ahí estaba la prueba. La cantidad adecuada de CO₂ que debe existir en la atmósfera para la vida en la tierra es de 350ppm. El aumento de esta proporción da origen al llamado efecto invernadero, que está relacionado con el calentamiento global.

Sus investigaciones sobre el CO₂ prosiguieron en el tiempo y fue el primero en aislar dióxido de carbono en estado puro. Este hecho sirvió para otro descubrimiento fundamental: la certeza de que el aire no es un elemento simple, sino un compuesto de diferentes elementos.

6. Importancia del CO₂

El dióxido de carbono es un gas incoloro, denso e inodoro que tiene ligero sabor a ácido, sus moléculas están compuestas por 1 átomo de carbono y 2 átomos de oxígeno, es esencial para la supervivencia de plantas y animales. Muchos seres vivos al respirar toman oxígeno y lo devuelven a la atmósfera como dióxido de carbono, No obstante, demasiada cantidad puede provocar el fin de la vida en la Tierra.

El dióxido de carbono es un gas que se presenta naturalmente. El dióxido de carbono se encuentra principalmente en el aire, pero también en el agua formando parte del ciclo del carbono. Un aumento en la cantidad de dióxido de carbono genera un exceso de gases de efecto invernadero que atrapan calor extra. Lo que provoca el derretimiento de las capas de hielo que elevan los niveles oceánicos y causan inundaciones.

Este gas contribuye a que la atmósfera tenga una temperatura óptima para los seres vivos, siempre y cuando se mantenga dentro del rango aceptable.

Juega un papel importantes en los procesos de plantas, animales y seres vivos como la fotosíntesis, respiración y procesos fundamentales para el ser vivo.

Plantas

Las plantas remueven el CO₂ para su uso más rápido que la del equilibrio atmosférico. Las células vegetales, al igual que las células animales, requieren una cierta cantidad de energía, que utilizan para transportar agua y minerales a todos sus tejidos. Esta energía también se utiliza para sintetizar los compuestos orgánicos que las plantas necesitan para su correcto crecimiento y desarrollo. El portador de esta energía es ATP, una molécula diminuta que almacena energía preciosa en sus enlaces químicos. Esta molécula se produce durante la fotosíntesis, que tiene lugar en las partes verdes de la planta. El dióxido de carbono es vital para este proceso. En términos simples, las células vegetales producen compuestos orgánicos a partir de dióxido de carbono y agua utilizando la energía proporcionada por ATP. Como resultado, las plantas liberan oxígeno para que los humanos y los animales respiren.

Animales

El dióxido de carbono es esencial para la supervivencia de animales. El oxígeno es transportado a través del tejido corporal durante la respiración y se libera dióxido de carbono. El gas protege el nivel de pH de la sangre.

Demasiada cantidad de dióxido de carbono puede matar a los animales. Cualquier aumento o disminución de la cantidad de dióxido de carbono que llega al cuerpo puede causar una insuficiencia renal o coma. De acuerdo con un nuevo estudio de *Nature GeoScience*, los caracoles marinos, también llamados mariposas marinas, se están deshaciendo en los mares del Sur debido a las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono. Los científicos han descubierto que las conchas de caracol son carcomidas, porque los niveles de pH en el océano descienden debido a las emisiones de dióxido de carbono, un fenómeno conocido como la acidificación oceánica.

6.1 Ciclo del CO₂

El carbono es un elemento extremadamente común en la Tierra y se puede encontrar en las cuatro esferas mayores del planeta: la biosfera, la atmósfera, la hidrosfera, y la litosfera. El carbono existe en las partes vivas y no vivas del planeta, como un componente de los organismos, los gases atmosféricos, el agua y las rocas. El carbono contenido en cualquiera de las esferas del planeta no permanece ahí para siempre. En cambio, se mueve de una esfera a otra en un proceso continuo, conocido como el ciclo del carbono. El ciclo del carbono es muy importante porque influye en los procesos importantes de la vida como la fotosíntesis y la respiración, contribuye a la formación de los combustibles fósiles e impacta el clima de la Tierra. La cantidad de carbono en cualquiera de las esferas del planeta en particular puede aumentar o disminuir dependiendo de las fluctuaciones del ciclo del carbono.

Se conoce como ciclo del carbono a un circuito biogeoquímico de intercambio de materia (específicamente de compuestos que contienen carbono) entre la biosfera, la pedosfera, la geósfera, la hidrosfera y la atmósfera de la Tierra. Fue descubierto por los científicos europeos *Joseph Priestley* y *Antoine Lavoisier*, y junto al del agua y del nitrógeno, forma parte de los ciclos que permiten la sostenibilidad de la vida en nuestro planeta.

El carbono en el mundo existe en distintas formas y ámbitos: en las reservas minerales de carbono bajo tierra, en forma de carbono inorgánico disuelto en el agua del mar, en el dióxido de carbono en la atmósfera

(producto de emisiones volcánicas o de la respiración de los seres vivos), en los procesos de descomposición de la materia orgánica en pantanos y otros terrenos.

A grandes rasgos, las reservas de carbono son: el carbono atmosférico, el contenido en el cuerpo de los seres vivos en la biósfera (incluidos los seres marinos y acuáticos), el carbono disuelto en el agua del mar y depositado en el fondo de los océanos, y los depósitos minerales de la corteza terrestre, incluidos los depósitos de petróleo y otros hidrocarburos.

El CO_2 en nuestro planeta forma parte de un ciclo biogeoquímico que intercambia el carbono entre las capas de la atmósfera, el agua de los mares y los depósitos en tierra firme. Esto permite que los átomos de carbono puedan ser reutilizados y la vida sea sostenible en el planeta.

Los procesos que mueven el carbono de un lugar a otro ocurren en escalas de tiempo diferentes. Algunos ocurren en escalas de tiempo cortas, como la fotosíntesis, que mueve el carbono de la atmósfera a la biosfera cuando las plantas extraen dióxido de carbono de la atmósfera. Y otros procesos ocurren en escalas de tiempo más largas. Por ejemplo, en el océano, los organismos con esqueletos de CaCO_3 y conchas mueren y algunos de sus restos, los que no se descomponen, se hunden hacia el fondo del océano. Cuando llega al fondo del océano, el carbono que estaba almacenado dentro de sus cuerpos se convierte en parte del sedimento rico en carbono y eventualmente es llevado, por el movimiento de las placas tectónicas, a las zonas de subducción en donde se convierte en roca metamórfica.

El ciclo del CO_2 se divide en varios procesos, en los cuales tenemos:

6.1.1 fotosíntesis y respiración, ciclo rápido

El primer componente del ciclo del carbono es la fotosíntesis y respiración de las plantas:

Los organismos que tienen la capacidad de llevar a cabo la fotosíntesis son llamados fotoautótrofos y fijan el CO_2 atmosférico.

En la actualidad podemos identificar 2 tipos de procesos fotosintéticos, tales como:

Fotosíntesis oxigénica que es propia de las plantas superiores, las algas y cianobacterias, donde el dador de electrones es el agua, y como consecuencia se desprende oxígeno, este produce azúcares útiles para la planta y, a su vez, consume dióxido de carbono y su produce oxígeno.

Fotosíntesis anoxigénica es tal de bacterias purpúreas y verdes del azufre, en las que el dador de electrones es el sulfuro de hidrogeno y consecuentemente el elemento químico liberado no será oxigeno sino azufre. Esta no produce oxígeno, pero aprovecha la luz solar para romper moléculas de sulfuro de hidrógeno.



Durante el día, las plantas usan la energía del sol para convertir el CO_2 de la atmósfera más agua en carbohidrato y O . Este proceso es la fotosíntesis. Durante la noche, hacen lo opuesto, se llama respiración. Usan el carbohidrato más el O para producir energía cuando no hay sol. Esto es lo que los humanos y animales hacen todo el tiempo. Si quemamos las plantas, o productos con gran cantidad de material orgánico, como el petróleo o hulla (carbón de piedra), o si las plantas mueren y se

descomponen, la reacción va a la izquierda; usan O y liberan CO_2 . Si se deposita materia orgánica en sedimentos, este almacena CO_2 de la atmósfera.

En la producción de carbono, la biosfera exhala en el proceso de respiración CO_2 ; y en los de descomposición y fermentación expulsa CO_2 y CH_4 . Por otro lado, la hidrosfera emite el CO_2 que posee disuelto al aumentar la temperatura, por las variaciones térmicas. Así mismo, la litosfera desprende CO_2 durante las erupciones volcánicas al liberarse el carbono presente en minerales y rocas. Los grandes depósitos de materia orgánica son ricos en carbono y en organismos que viven de la descomposición y transformación de dicha materia, obteniendo energía a cambio y liberando gases a la atmósfera como el metano (CH_4) o el CO_2 .

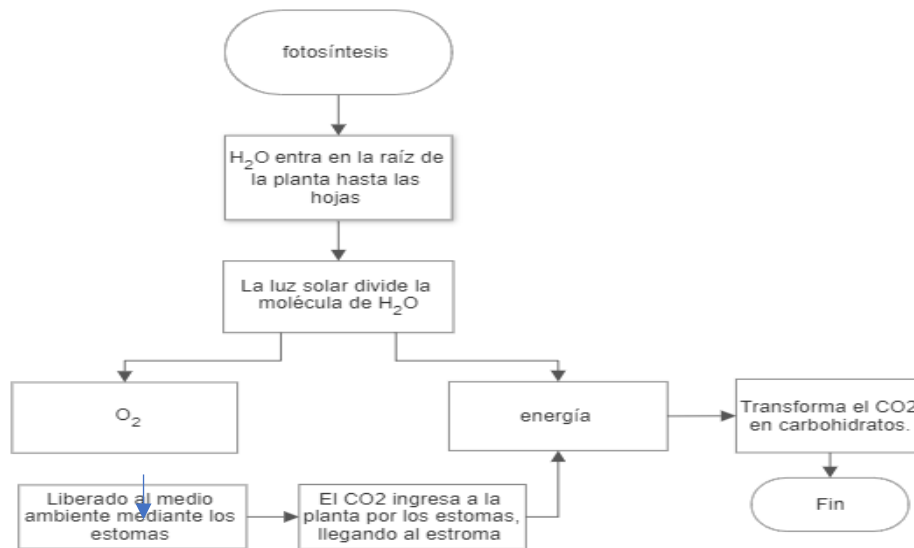


Figura 1 diagrama de flujo del proceso por el cual es liberado el dióxido de carbono mediante la fotosíntesis

6.1.2 Proceso rápido oceánico

Este segundo proceso es el intercambio entre la atmósfera y el océano en el cual una parte del carbono atmosférico se disuelve en el océano en forma de CO_2 .

El océano tiene gran potencial para absorber grandes cantidades de CO_2 se estima que alrededor del 70% que a permanecido en la atmósfera ha sido absorbida por el océano.

El CO_2 atmosférico entra en el océano por intercambio gaseoso dependiendo de la velocidad del viento y de la diferencia de las presiones parciales entre la atmósfera y el océano. La cantidad de CO_2 captado por el agua de mar es función de la T° a través de efecto de la solubilidad. La solubilidad de los gases generalmente disminuye cuando aumenta la T° y la salinidad. Y aumenta cuando aumenta la presión. La solubilidad de CO_2 es mucho mayor que la de otros gases como el N y O.

La química de la capa superficial del océano está bien mezclada con la atmósfera. Entonces el CO_2 es consumido y liberado constantemente por el océano. Mas o menos hay un equilibrio entre la cantidad consumida y la liberada. Pero hay dos procesos que almacenan CO_2 en el océano.

El primer proceso es químico, el CO_2 se combina con un ion de carbonato para forma bicarbonato:



Esta reacción tiene una Kp muy grande que hace que la mayoría de CO₂ que entra en el océano se convierta rápidamente en bicarbonato

Esta reacción es más rápida. por lo que, si hay más CO₂ en la atmósfera, el océano almacena más CO₂. Entonces el océano regula el CO₂ en la atmósfera, pero no lo suficientemente rápido para quitar todo el CO₂ que nosotros estamos añadiendo.

6.1.3 *Ciclo de roca*

El ciclo de carbonato-silicato

Este es un proceso más lento el cual se da entre las rocas sedimentarias que contienen silicato de calcio y la atmosfera, este flujo comienza con la lluvia, el agua disuelve parte de las rocas de la superficie terrestre arrastrando los iones de Ca de las rocas hacia los ríos y de ahí al océano. Estos iones de Ca son los que usan los organismos marinos para formar sus Conchas de carbonato de calcio. Cuando estos mueren sus conchas caen en los sedimentos del fondo marino, transformándose finalmente en rocas sedimentarias, llamada caliza.



Debido a las altas T° el carbonato cálcico de las rocas sedimentarias reacciona con otros elementos, produciendo CO₂ que se termina filtrando a la atmosfera a través de los volcanes y pozos de aguas termales, esto ocurre en la corteza y el manto terrestre.

Otro proceso de este ciclo ocurre entre el carbono de la materia muerta terrestre u oceánica y las rocas sedimentarias, cuando esta materia queda atrapada entre otros sedimentos en ausencia de oxígeno se forman otros compuestos, algunos de ellos pasan a formar parte de las rocas sedimentarias, pero pueden darse procesos que generan los que conocemos como combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural que quedan almacenados en el subsuelo.

7. Tipos de fuentes de CO₂ y criterios de sustentabilidad aplicados

Existen 3 tipos de fuentes desde las cuales se puede capturar el CO₂

- a) Fuentes industriales: cuyas emisiones se descargan a través de un ducto o chimenea, son aquellas fuentes a partir de las cuales se generan emisiones estacionarias puntuales proveniente de un proceso industrial.
- b) Fuentes biogénicas: Son aquellas fuentes estacionarias en las que se realizan procesos en los que se libera el CO₂ almacenado en materiales biológicos. Ejemplos de estos procesos son combustión, fermentación, descomposición u otros. Las fuentes más comunes son: transformación de biogás a biometano, combustión de biomasa y procesos de fermentación industriales.
- c) Aire: Corresponde a la captura de CO₂ directamente desde la atmósfera (DAC, por sus siglas en inglés).

Para poder certificar la sustentabilidad de combustibles sintetizados a partir de CO₂ y estos poder ser considerados como energéticos renovables, se debe asegurar la renovabilidad de los insumos y fuentes de energía utilizados. En este contexto, el origen y proceso de captura de CO₂ como insumo para combustibles sintéticos debe poder ser trazable. Existen, hasta ahora, dos criterios que definen la sustentabilidad del CO₂ capturado.

- La intensidad de las emisiones de carbono asociada a la captura de este.
- La inevitabilidad de la fuente de la cual se captura.

Para que un combustible sintetizado a partir de CO₂ pueda ser certificado como renovable, hoy en día se deben cumplir los dos criterios de sustentabilidad mencionados anteriormente, pero, además, si el CO₂ proviene de una Fuente Industrial, se debe asegurar y poder verificar la contabilización de las emisiones asociadas. Al capturar el CO₂ de una Fuente Industrial y convertirlo en un combustible, este es almacenado temporalmente, pero cuando el combustible es utilizado el CO₂ se libera a la atmósfera. En consecuencia, no se puede contabilizar una reducción de emisiones en la industria de la cual se captura el CO₂, y, además, considerar el combustible como carbono neutral. Se deben contabilizar las emisiones de CO₂ en alguna de las dos etapas (industria desde la cual se captura, o uso final del combustible sintético). Por ende, para poder certificar el combustible se requiere saber en qué etapa del proceso de

captura y utilización del CO₂ ocurren la contabilización de la reducción en las emisiones.

7.1.1 Intensidad de las emisiones

La intensidad de las emisiones asociada al proceso de captura de carbono está relacionada principalmente a las emisiones de la energía y calor que este requiere, pero también puede incluir emisiones asociadas al transporte del CO₂ desde el lugar de captura hasta el sitio de utilización. Esta varía de acuerdo con la intensidad de las emisiones de las fuentes de energía que se utilicen, pero también depende de las concentraciones de CO₂ que tenga el efluente industrial o biogénico, ya que a menor concentración se requiere más energía y calor para poder capturarlo.

7.1.2 inevitabilidad de emisiones

Además de la intensidad de las emisiones de CO₂ del proceso de captura, se debe cumplir con el criterio de inevitabilidad de la fuente de carbono, para que este sea certificable como insumo sustentable. La inevitabilidad hace referencia a si es posible evitar la emisión del CO₂ que se captura en primer lugar. Para el caso de la captura directa del aire, se considera que el CO₂ capturado es siempre inevitable. Lo mismo ocurre para las fuentes biogénicas, ya que el CO₂ fue capturado de la atmósfera producto del crecimiento de la biomasa que se utiliza, por lo que el proceso se considera neutro en emisiones.

Para el caso de las fuentes industriales, la inevitabilidad de estas es más ambigua, ya que solamente se consideran inevitables aquellos procesos industriales que no tienen un reemplazo menos emisor.

8. Tecnologías para captura de CO₂

En la actualidad, existen varios gases contaminantes que contribuyen en el calentamiento global de nuestro planeta; uno de ellos es el CO₂ es cual es liberado a la atmosfera en grandes cantidades. Cada día se están realizando numerosos esfuerzos para combatir este problema con el uso de energías renovables limpias para la producción de electricidad, reduciendo así la quema de combustibles fósiles y su consecuente emisión de gases contaminantes, no parece ser una opción que resuelva de manera significativa a corto plazo.

Una de las alternativas más prometedoras para reducir las emisiones de CO₂ a la atmosfera es por medio de captura y almacenamiento de CO₂, esta es una tecnología que lleva varias décadas en desarrollo.

La problemática mundial con relación a las emisiones de CO₂ es que la demanda de energía aumentara con los años; el petróleo, gas natural y el carbón; según la *British petroleum* (compañía de energía dedicada principalmente en petróleo y al gas natural) las energías solo proporcionan la mitad de la energía adicional requerida para el 2035, así que es de mucha importancia impulsar los proyectos de captura y almacenamiento de CO₂ para evitar que las miles de toneladas de emisiones de CO₂ sigan aumentando cada año y reducir las actualmente emitidas, es necesario invertir en la investigación de nuevos procesos y materiales que sean más eficientes y económicos para la captura, transporte y almacenamiento de CO₂

La recuperación de petróleo es uno de los principales objetivos que tienen gran potencial para aminorar las emisiones de CO₂ a gran escala. Esta técnica se considera fuerte en términos de tecnología y eficiencia, ya que el petróleo restante después de las etapas primaria y secundaria de extracción sigue siendo significativo. Fundamentalmente, el CO₂ inyectado reducirá significativamente la viscosidad del petróleo, hinchará las gotas atrapadas, y finalmente hará que el petróleo se mueva y facilita su extracción.

Actualmente existen tres tecnologías desarrolladas para conseguir la captura del CO₂ producido por plantas termoeléctricas alimentadas por combustibles fósiles: la captura postcombustión, la captura precombustión y la oxidación. En la captura de postcombustión, el CO₂ es separado de otros gases de combustión, ya sea presentes originalmente en el aire o producidos por la combustión; en la captura de precombustión, el CO₂ se elimina del combustible antes de la combustión,

y en la oxidación el nitrógeno es removido del aire quedando oxígeno de alta pureza (95%) y es quemado con el combustible y gases de combustión, haciendo más fácil su captura posterior del CO₂.

8.1 La precombustión

La precombustión consiste en eliminar el CO₂ después de convertir un combustible (hidrocarburo líquido, gas natural, carbón o biomasa lignocelulosa) en una mezcla de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂) para formar gas de síntesis. El gas de síntesis se procesa a través de una reacción de conversión de desplazamiento durante la cual se produce más hidrógeno y se forma CO₂. El CO₂ formado se captura mientras que el hidrógeno se puede quemar para producir energía (electricidad y/o calor) sin emisión de CO₂. El H₂ es purificado por medio de absorción química o física del CO₂ (fácil separación debido a la alta presión parcial del CO₂). El H₂ recuperado puede ser empleado en calderas, turbinas de gas (en plantas que puedan usar H₂ de combustible) o podría ser usado en un ciclo combinado de gasificación integrada (CCGI) en plantas generadoras. Este proceso se emplea principalmente en termoeléctricas de quema de carbón, o plantas que usen carbón, aunque puede bajar la eficiencia este proceso en pérdidas de energía en capturar el CO₂ de una planta con 38.4% a 31.2% de eficiencia, puede recuperarse un poco en el uso del H₂ como combustible en un CCGI. La captura por precombustión tiene la ventaja de implementación sin hacer muchas modificaciones a las plantas). El sector industrial incluye varios procesos donde el CO₂ se produce como subproducto de la conversión química.

Las fuentes industriales con altas corrientes de gas de concentración de CO₂ incluyen plantas para la conversión de combustibles de carbón a líquido y procesos químicos (principalmente a base de gas natural) para la producción de productos químicos tales como etanol, amoníaco, hidrógeno y gas metano sintético.

8.2 Oxidación

Una alternativa de capturar CO₂ de gas combustible es modificar el proceso de combustión de tal forma que el gas combustible tenga una alta concentración de CO₂. Una tecnología prometedora para lograr esto es la oxidación, en donde el combustible es quemado con oxígeno casi puro (cerca del 95 %) mezclado con gas de combustión reciclado. La opción más frecuentemente propuesta en este concepto es la unidad de separación de aire criogénico; que es usada para suministro de oxígeno de alta pureza para calderas de carbón pulverizado. Este oxígeno de alta

pureza se mezcla con gases de combustión reciclado antes de la combustión en la caldera para mantener condiciones similares de combustión a con la configuración de quema con aire. Esto es necesario porque actualmente no se encuentran disponibles materiales en las calderas que resistan las altas temperaturas resultantes de la quema de carbón con oxígeno. Hay nuevas aplicaciones como uso de tecnologías de membranas por adsorción y separación de O_2 en lugar de criogénicas para aire enriquecido con oxígeno, mejoras en el proceso de absorción debido a la presencia de CO_2 más alto en los gases de combustión y reduciendo los requisitos de servicio del recalentador en la regeneración disolvente.

Lo más atractivo de este proceso es que produce gas combustible el cuál es predominantemente en CO_2 y agua. El agua fácilmente se remueve por condensación, y el CO_2 restante puede ser purificado a bajo costo. El acondicionamiento del gas de combustión consiste en el secado del CO_2 , removiendo el O_2 para prevenir la corrosión en las tuberías, y posiblemente remoción de otros contaminantes y diluyentes, tales como Ar, N_2 , SO_2 y NOX. La oxicomustión simplifica la captura posterior a la combustión, uno de los retos de esta tecnología es la penalización de energía en refrigerar el O_2 y CO_2 para su almacenamiento y operación en este proceso.

8.3 Postcombustión

Las opciones para la captura de CO_2 en la postcombustión son caras, pero pueden utilizarse para bajas concentraciones de CO_2 y pueden integrarse con las centrales eléctricas existentes para una captura efectiva. Las diferentes tecnologías para la captura de CO_2 en la postcombustión son: la absorción (química y física), adsorción, separación criogénica, separación por membrana y combustión química de bucles. La absorción es una opción técnica que puede utilizarse en ambos modos de captura de CO_2 antes y después de la combustión; esta tecnología ya se ha comercializado. La absorción física depende de la solubilidad del CO_2 en el disolvente y se prefiere a altas presiones. La absorción química se prefiere debido a la mayor capacidad de absorción a baja presión parcial de CO_2 .

Los equipos principales son la torre de absorción, donde tiene lugar la reacción del CO_2 de los gases de combustión con el solvente y el regenerador o stripper, donde se recupera el solvente y se separa el CO_2 para su posterior acondicionamiento y transporte. Es en esta regeneración donde tiene lugar la mayor penalización energética, que supone hasta un 70% de los costes del proceso.

8.3.1 Procesos de post combustión



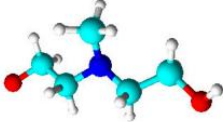
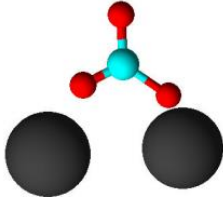
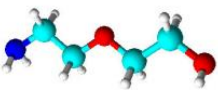
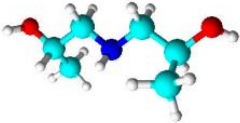
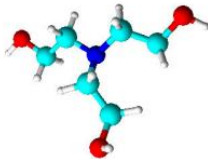
a) absorción química

Un sistema típico de absorción química consta de tres componentes, es decir, disolvente, absorbente y separador. Los absorbentes más empleados son las alcanolaminas en solución acuosa, dado que la alcalinidad del grupo amino reacciona rápidamente con el CO₂ exotérmicamente.

Para poder utilizar esta técnica es necesario verificar si el sistema es compatible para corrientes de gases con bajas concentraciones de CO₂, donde el gas de interés reacciona con un líquido de absorción.

Los gases de combustión procedentes de diferentes fuentes de CO₂, como las centrales eléctricas de carbón, entran en contacto con la solución pobre a contracorriente en el absorbedor. El CO₂ es absorbido por los disolventes, lo que conduce a una menor concentración de CO₂ en el gas de combustión. El CO₂ rico en disolvente se regenera a continuación en el separador. La solución pobre regenerada se devuelve al absorbedor y se recoge CO₂ comprimido en la parte superior del separador y se transporta.

La absorción química ha sido la tecnología más exitosa que se ha comercializado desde hace muchos años, pero aún no se ha ampliado en la recuperación de CO₂ en las plantas de energía.

Aminas primarias	Aminas secundarias	Aminas terciarias	Otros
 Monoetanolamina (MEA)	 Diethanolamina (DEA)	 Metildietanolamina (MDEA)	
 Diglicolamina (DGA)	 Diisopropanolamina (DIPA)	 Trietanolamina (TEA)	Carbonato de potasio K ₂ CO ₃

b) absorción física

En los solventes físicos, por ejemplo, en el Selexol o en el Rectisol, la capacidad de carga de los solventes depende linealmente de la presión parcial del componente a eliminar y la carga del solvente, lo que permite su regeneración por disminución de la presión del sistema.

La disolución del dióxido de carbono en el solvente líquido físico se atribuye a la interacción de *Van der Waals* o *electrostática*, y es óptima a alta presión y baja temperatura. A bajo contenido de CO₂ en la mezcla de gases, las capacidades de absorción de los solventes químicos son mucho más altas y presentan una mayor afinidad en comparación con las capacidades de absorción de los solventes físicos, mientras que los solventes físicos proporcionan mejores resultados a altas presiones parciales. Los requisitos térmicos de los solventes químicos son mucho más elevados que los de los solventes físicos debido a la demanda térmica del proceso de liberación del CO₂. La absorción física no es económica para las corrientes de gases con una concentración de CO₂ inferior a 15% vol.

c) Adsorción

La adsorción de gases es considerada un método prometedor para la captura de CO₂ en procesos de postcombustión. Este proceso logra la separación específica de una o varias especies, debido a la diferencia de afinidad entre las moléculas hacia la superficie de sólido. Se presentan dos tipos de adsorción: fisisorción, la cual se establecen interacciones débiles de tipo Van der Waals con la superficie, y la quimisorción con la formación de enlaces covalentes con la superficie. En el proceso de adsorción de CO₂ se establecen dos etapas: la adsorción, que determina la eficiencia de la captura, y desorción que requiere el mayor consumo de energía durante la regeneración del adsorbente, la cual determina la viabilidad económica del proceso.

Se han investigado diferentes materiales adsorbentes tales como carbones activados, arcillas, zeolitas, entre otros. Se ha estudiado la captura de CO₂ usando como adsorbente un sólido mesoporoso, denominado MCM-48 (SiO₂), el cual fue funcionalizado con aminas monoméricas y poliméricas con y sin impedimento estérico. En ese

Selexol: disolvente de eliminación de gases ácidos que puede separar gases ácidos, como el sulfuro de hidrógeno y el CO₂, de las corrientes de gas de alimentación, como el gas de síntesis producido por la gasificación del carbón, el coque o los hidrocarburos pesados.

Rectisol: proceso de eliminación de gases ácidos que utiliza metanol como disolvente para separar gases ácidos como el sulfuro de hidrógeno y el dióxido de carbono de las valiosas corrientes de gas de alimentación. Al hacerlo, el gas de alimentación se vuelve más adecuado para la combustión y/o el procesamiento posterior.

trabajo se evidenció que la concentración de grupos aminos unidos a la superficie favorecía significativamente la adsorción de CO₂, permitiendo la regeneración del adsorbente, sin embargo, el principal inconveniente es el incremento en el costo del proceso. A pesar de que zeolitas o carbones activos son capaces de adsorber físicamente una cantidad importante de CO₂ a temperatura ambiente, presentan una disminución en su capacidad y selectividad de adsorción al incrementar la temperatura y por la presencia de agua y otros gases como N₂ y CH₄. Shamik Chowdhury. evaluó una serie de nanocompuestos de TiO₂ mesoporoso con óxido de grafeno (GO), con diferentes relaciones de masa de GO y TiO₂ para captura de CO₂. Al evaluar la capacidad de adsorción de CO₂ se logró capturar 1,88 mmol/g a temperatura ambiente. Este material TiO₂, GO presentó una mayor eficiencia en comparación con otros adsorbentes comúnmente utilizados; además de presentar menor calor de adsorción y selectividad de CO₂, N₂, útil para captura de CO₂ en gases de combustión secos. Esto permite enfocar la exploración de otros materiales que permitan una mayor adsorción de CO₂.

❖ *adsorción química*

Este proceso logra la separación específica de una o varias especies, debido a la diferencia de afinidad entre las moléculas hacia la superficie de sólido.

La adsorción química es una alternativa tecnológica eficaz para reducir la energía y el costo de la captura del CO₂. es adecuada para separar el CO₂ de corrientes diluidas y de bajo caudal. En este proceso, el líquido o el gas se adhieren a adsorbentes sólidos que podrían regenerarse posteriormente mediante la aplicación de operaciones de oscilación de temperatura, vacío o presión. El carbón activado, los óxidos metálicos, la alúmina, los fosfatos y las zeolitas, los marcos orgánicos metálicos, los carbones y polímeros microporosos y las aminas modificadas fueron algunos de los diferentes adsorbentes reportados para ser usados en este proceso.

❖ *adsorción física*

La adsorción física utiliza una superficie sólida, por ejemplo, carbón activado, alúmina, óxidos metálicos o zeolitas. Tras la captura por adsorbente, el CO₂ se libera al aumentar la temperatura o la presión. La separación física se utiliza actualmente sobre todo en el procesamiento del gas natural y el etanol, metanol e hidrógeno. Es adecuada para la captura de CO₂ proveniente de gases a altas presiones y bajas

temperaturas. Todas las instalaciones actualmente en funcionamiento se encuentran en Norteamérica.

d) separación criogénica

Utiliza bajas temperaturas para separar y purificar el CO₂ del resto de los gases. (-80 °C (193 K) [20] y los -130 °C (143 K)). La separación criogénica implica la compresión y el enfriamiento de la mezcla de gases con CO₂ a varios niveles para avanzar el cambio de fase de CO₂ junto con otros constituyentes que posteriormente, depositando el CO₂ en forma sólida. A continuación, el CO₂ se extrae y se recalienta bajo presión para que ser almacenado como un líquido (150 bar y >99%) pureza pueden ser separados por destilación. Este proceso no requiere absorbentes químicos; puede llevarse a cabo a presión atmosférica y es compatible con ambos modos de captura de CO₂ antes y después de la combustión.

La principal desventaja de este proceso es la gran cantidad de energía requerida para la refrigeración y la necesidad de incluir una etapa previa que asegure la eliminación de la humedad en la mezcla de gas de entrada, debido a que la formación de hielo suele provocar que el sistema de tuberías se bloquee, causando problemas de seguridad.

e) Separación por membrana

El uso de membranas para la separación de componentes se basa en la diferencia de difusión de los gases en los poros. La velocidad de difusión o permeación depende principalmente de la presión diferencial entre ambos lados de la membrana, de su espesor, del tamaño y la solubilidad de las moléculas que lo atraviesan. En este proceso, la diferencia de presión parcial se utiliza como fuerza impulsora y generalmente se favorece la separación cuando la corriente de alimentación se encuentra a alta presión y existe una gran diferencia entre el coeficiente de permeación. Las membranas pueden ser clasificadas dependiendo del material: orgánicas (tipo polímeros) e inorgánicas (metálicas, cerámicas y zeolitas), pero las membranas orgánicas presentan limitación a altas temperaturas.

A continuación, se presentan los procesos donde se pueden utilizar las membranas:

Membranas orgánicas:

Separación de CO₂ con alta presión y CH₄.

Separación de CO_2 y N_2 como parte del proceso postcombustión. En este caso se requieren de etapas posteriores de reciclaje para que el procedimiento sea rentable, debido a que las membranas presentan bajas presiones del flujo y selectividad.

Membranas inorgánicas: Para la precombustión se utilizan membranas metálicas que realizan la captura a partir de aleaciones Pd.

En precombustión y oxidación se utilizan membranas transportadoras de iones, conductoras de protones y conductoras de oxígeno.

Roda Bounaceur y colaboradores realizaron un trabajo basado en la potencial identificación y las posibles limitaciones del uso de membranas para la recuperación de CO_2 , evidenciando que solo es económicamente viable la tecnología cuando existe una relación de recuperación y composición del filtrado no mayor al 0,8. Para el caso particular de centrales eléctricas de carbono, con un 10% de CO_2 en el gas de combustión, el uso de membranas no es lo suficientemente selectiva para obtener un rendimiento de captura significativo. Sin embargo, en el caso que la selectividad de CO_2 , N_2 es menor de 50 y que las corrientes presentan un 20% de CO_2 , el uso de membranas presenta recuperaciones considerables.

f) Combustión química

En los últimos años se ha mostrado interés en la combustión en bucle químico, sus siglas en inglés (CLC Chemical looping combustión), como técnica de captura de carbono. La captura de carbono se ve facilitada por CLC porque las dos reacciones redox generan dos corrientes de gas de combustión intrínsecamente separadas: una corriente del reactor de aire, que consta de N_2 atmosférico y O_2 residual pero sensiblemente libre de CO_2 ; y una corriente del reactor de combustible que contiene predominantemente CO_2 y H_2O con muy poco nitrógeno diluyente. El gas de combustión del reactor de aire se puede descargar a la atmósfera causando un mínimo de CO_2 contaminación. El gas de salida del reductor contiene casi todo el CO_2 generado por el sistema y el CLC, por lo tanto, se puede decir que exhibe una captura de carbono inherente, ya que el vapor de agua se puede eliminar fácilmente del segundo gas de combustión a través de la condensación, lo que lleva a una corriente de CO_2 casi puro. Esto le da a CLC claros beneficios en comparación con las tecnologías de captura de carbono de la competencia, ya que estas últimas generalmente implican una penalización energética significativa asociada

con los sistemas de depuración de postcombustión o con la entrada de trabajo requerida para las plantas de separación de aire. Esto ha llevado a que CLC se proponga como una tecnología de captura de carbono energéticamente eficiente,] capaz de capturar casi todo el CO₂.

9. Houston CCS Alliance

La misión de Houston es reducir las emisiones industriales de CO₂ en el área de Houston, una de las mayores fuentes de concentración de CO₂ del país, y convertirla en el modelo de un mundo emergente con menos emisiones que apoye el empleo, el crecimiento económico y la prosperidad.

Houston CCS Alliance se formó para avanzar en una de las oportunidades de captura y almacenamiento de carbono (CAC) más importantes del mundo. Las empresas que forman parte de este esfuerzo creen que ha llegado el momento de una ambiciosa colaboración entre la industria, las organizaciones no gubernamentales, el mundo académico y las comunidades locales para reducir de forma significativa las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y otros gases de efecto invernadero (GEI) y, al mismo tiempo, satisfacer las crecientes necesidades energéticas e industriales de Estados Unidos. Creemos que Houston está en una posición única para ser un líder mundial en CAC.

La alianza une a la reconocida comunidad industrial de la ciudad con diversas organizaciones, líderes comunitarios y residentes de la región de Houston y el sureste de Texas que comparten la visión de avanzar en la tecnología de CAC y asegurar un futuro con menos emisiones.

Houston CCS Alliance es un esfuerzo coordinado entre algunas de las empresas energéticas, petroquímicas y de generación de energía más innovadoras del mundo para avanzar en el desarrollo de la captura y el almacenamiento de carbono (CAC) en el área industrial de Houston.

Estas empresas llevan décadas formando parte de Houston, dando empleo a miles de personas, apoyando a las familias con buenas carreras e invirtiendo en el bienestar de las comunidades locales donde operan con seguridad.

(Air liquide, BASF, calpine, chevron, DOW, Exxon móvil, Ineos, linde, Lyondellbasell, Marathon, phillips 66, Shell.)

La Alianza se compromete a tener un impacto positivo en las comunidades locales. “Nos enorgullece trabajar en colaboración con las comunidades y sus líderes, las empresas locales, las instituciones educativas y las organizaciones empresariales”.

¿Cómo funciona?

La CAC funciona capturando las emisiones de CO₂ que de otro modo se liberarían a la atmósfera. A continuación, el CO₂ capturado se transporta a un lugar de almacenamiento, donde se inyecta a gran profundidad bajo tierra o bajo el lecho marino para su almacenamiento. Capturando y almacenando el CO₂ de forma segura, podemos reducir significativamente las emisiones, lo que nos ayuda a situarnos en la senda de un futuro con cero emisiones netas.

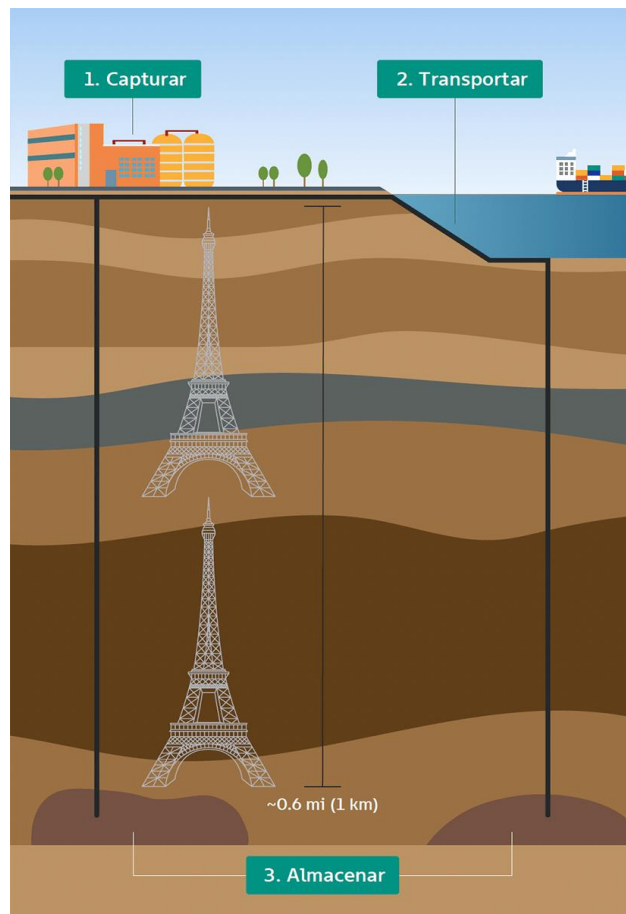


Ilustración 1 almacenamiento subterráneo de CO₂

Primero la CAC captura CO₂ mientras se produce en la actividad industrial, después el CO₂ se transporta mediante tuberías a un lugar de almacenamiento permanente a miles de pies bajo tierra, muy por debajo de las aguas subterráneas.

Los trabajos de CAC realizados en los últimos 25 años han contribuido a desarrollar un proceso probado de almacenamiento de CO₂ en formaciones geológicas. Además, desde 1997, el Departamento de Energía de Estados Unidos ha invertido más de 7,000 millones de dólares en la investigación y el desarrollo de tecnologías de captura y almacenamiento

de carbono (CAC). El proceso de almacenamiento de CO₂ en el subsuelo ha sido estudiado y revisado por varias organizaciones durante décadas, como el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático de las Naciones Unidas y la Universidad de Carnegie Mellon, entre otras. Los estudios concluyen que el almacenamiento de CO₂ en formaciones geológicas puede ser una práctica segura y viable que no plantea ninguna amenaza geológica importante, incluida la de la actividad sísmica. Antes de decidir dónde almacenar el CO₂, los expertos examinan cuidadosamente el subsuelo para asegurarse de que puede contener de forma segura el CO₂ inyectado y de que tiene un sello geológico natural e impermeable para evitar que el CO₂ se escape. Las zonas utilizadas para el almacenamiento subterráneo de CO₂ suelen estar a media milla o más de profundidad.

Las industrias más esenciales del mundo, como la generación de energía, la fabricación pesada y la producción petroquímica, son difíciles de descarbonizar. La captura y almacenamiento de carbono (CAC) ofrece la posibilidad de capturar y almacenar permanentemente el dióxido de carbono (CO₂) y otras emisiones de GEI que, de otro modo, se liberarían a la atmósfera desde los procesos industriales críticos.

Houston CCS Alliance puede desempeñar un papel crucial en la reducción significativa de las emisiones de CO₂ de estas industrias difíciles de descarbonizar. Las empresas podrían capturar aproximadamente 100 millones de toneladas métricas de CO₂ al año antes de 2040 y, en última instancia, ayudar a la ciudad de Houston a alcanzar sus objetivos de neutralidad de carbono. Las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía muestran que, para alcanzar nuestros objetivos climáticos globales, necesitaremos capturar 28,000 millones de toneladas métricas de CO₂ antes de 2060 procedentes de este tipo de procesos industriales.

10. Climeworks

Islandia es el escenario en el que la empresa suiza *Climeworks* construye la instalación de captura y almacenamiento de CO₂ más grande del mundo. Para este proyecto, la compañía cuenta con el apoyo de Audi, para el que elimina 1.000 toneladas métricas de la atmósfera al año. En total, la instalación filtrará 4.000 toneladas métricas de dióxido de carbono del aire y lo mineralizará para su almacenamiento bajo tierra.

Proceso de captura y almacenamiento de CO₂

Con la tecnología de captura directa de aire, el dióxido de carbono se extrae del aire ambiental y el aire libre de CO₂ se devuelve a la atmósfera. La instalación de Climeworks en Islandia realiza el transporte y almacenamiento de CO₂ filtrado del aire debajo de la superficie de la Tierra, donde los procesos naturales lo mineralizan. Por lo tanto, el dióxido de carbono se elimina así de forma permanente de la atmósfera.

La instalación primero aspira aire y lo introduce en un colector de CO₂, que contiene un filtro con un material selectivo que utiliza un absorbente especialmente desarrollado para filtrar el CO₂. Cuando este filtro está saturado con CO₂, se calienta a 100 grados Celsius utilizando el calor residual de una planta geotérmica cercana, liberando así las moléculas del dióxido de carbono. El agua de la planta energética de *Hellisheiði* fluye a través de la instalación y transporta el CO₂ aproximadamente a una profundidad cercana a los 2.000 metros. Las moléculas de CO₂ reaccionan a través de procesos de mineralización natural con la roca basáltica y se convierten en carbonatos durante un período de varios años, almacenando así permanentemente el CO₂ bajo tierra, mientras que el agua vuelve al ciclo de la central geotérmica.

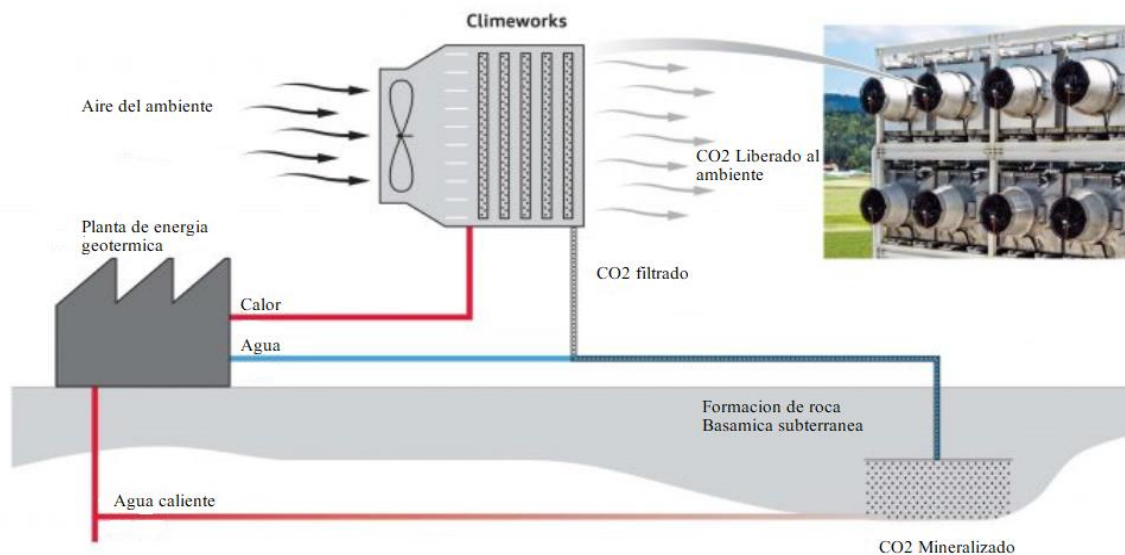


Diagrama de flujo 2 Proceso de captura CO2

La instalación operará las 24 horas del día durante los siete días de la semana y filtrará 4.000 toneladas métricas de aire de la atmósfera cada año, de las cuales una cuarta parte se imputará a Audi. Se necesitarían 80.000 árboles para absorber esta cantidad de dióxido de carbono de forma natural.

- Ventajas de la tecnología de captura directa de aire

Entre las ventajas principales de la tecnología de captura directa de aire figuran dos que destacan sobre el resto.

En primer lugar, los análisis del ciclo de vida muestran que el 90% del CO2 filtrado del aire se almacena de manera efectiva y permanente bajo tierra. Esta alta capacidad de reducción que hace que la instalación sea particularmente eficiente.

Por otra parte, la tecnología también se puede escalar hasta el rango de una cifra anual de millones de toneladas, por lo que muestra un gran potencial para el futuro.

- Potencial geotérmico de Islandia

Las condiciones para el proceso de captura de CO2 son ideales en Islandia, dado su origen volcánico que convierte al país en una de las regiones geotermales con más potencia del mundo. La energía geotérmica alta

supone que el calor de la tierra puede ser convertida en electricidad de forma limpia.

Por otra parte, también el mineral que compone el subsuelo de Islandia es idóneo para el proceso de captura de CO₂, ya que su composición permite almacenar grandes cantidades del gas.

11. Ventajas y desventajas de CAC

Ventajas de la CAC

Según el Instituto Grantham de la London School of Economics, la CAC (captura y almacenamiento de CO₂) es actualmente la única tecnología de captura de carbono que puede reducir las emisiones de las plantas industriales, y tiene varias ventajas sobre otros tipos de tecnología de eliminación de carbono.

- Puede reducir las emisiones en origen

Casi el 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Estados Unidos proceden directamente de la producción de energía o de la industria. Quizá la mayor ventaja de la CAC sea su capacidad para capturar el CO₂ de estas fuentes puntuales y almacenarlo después de forma permanente en formaciones geológicas. La Agencia Internacional de la Energía estima que la CAC podría ser responsable de eliminar hasta el 20% del total de las emisiones de CO₂ de las instalaciones industriales y de producción de energía.

- El CO₂ es más fácil de eliminar en las fuentes puntuales

Una de las principales desventajas de eliminar el CO₂ del aire mediante tecnologías como captura directa del aire es que la concentración del gas en la atmósfera es relativamente baja. En un tipo de CAC, conocido como precombustión, el combustible se trata para formar una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono. Conocida como syngas, la mezcla reacciona con el agua para formar hidrógeno y CO₂ altamente concentrado.

En el proceso de oxidación de CCS, se utiliza oxígeno para quemar el combustible y el gas de escape sobrante también tiene una concentración muy alta de CO₂. Esto hace que sea mucho más fácil que el CO₂ reaccione con el solvente en el proceso de CAC y que luego se separe.

- Se pueden eliminar otros contaminantes al mismo tiempo

Durante la combustión con oxidación, las altas concentraciones de oxígeno utilizadas para la combustión conducen a una importante reducción de los gases de óxido de nitrógeno (NOx) y de dióxido de azufre. Un estudio realizado para el Laboratorio Nacional de Argonne demostró una disminución del 50% de los gases NOx en la combustión con oxidación, en comparación con la combustión con aire normal. Las

partículas creadas por la combustión con oxidación CCS pueden eliminarse con un precipitador electrostático.

- La CAC podría reducir el coste social del carbono

El coste social del carbono es un valor en dólares de los costes y beneficios estimados para la sociedad por el cambio climático causado por una tonelada métrica adicional de CO₂ liberada a la atmósfera en un año. Ejemplos de costes sociales de las emisiones adicionales de CO₂ podrían ser los daños causados por los huracanes y los efectos adversos sobre la salud humana. Un beneficio podría ser el aumento de la productividad general en el sector agrícola. Al eliminar el CO₂ directamente de la fuente, podrían disminuir los daños netos para la sociedad.

Desventajas de la CAC

Incluso con las ventajas de utilizar la CAC para ayudar a reducir la cantidad de CO₂ que se emite a la atmósfera, hay varias cuestiones relacionadas con la aplicación de la tecnología que aún deben resolverse.

- El coste de la CAC es elevado

Para equipar la industria y las plantas de generación eléctrica existentes con la tecnología CAC, el coste del producto que se genera debe aumentar si no se conceden subvenciones. Un informe de investigadores de la Universidad de Utah cita estimaciones de un aumento del 50% al 80% en el coste de la electricidad para pagar la implantación de la tecnología CAC. En la actualidad, en la mayoría de los lugares no existe ningún impulso normativo que incentive o exija el uso de la CAC, por lo que el coste de los equipos y materiales para separar el CO₂, construir la infraestructura para transportarlo y luego almacenarlo puede ser prohibitivo.

- El uso de la CAC para la recuperación de petróleo podría anular su propósito

Un uso actual del CO₂ capturado durante el proceso de CAC es la recuperación mejorada de petróleo. En este proceso, las compañías petroleras compran el CO₂ capturado y lo inyectan en pozos de petróleo agotados para liberar petróleo que de otro modo sería inalcanzable. Cuando ese petróleo se quema finalmente, liberará más CO₂ a la atmósfera. A menos que la cantidad de CO₂ capturada durante la CAC también tenga en cuenta el CO₂ liberado por el petróleo que se puso a disposición, la CAC simplemente estará contribuyendo a una mayor cantidad de gas de efecto invernadero en la atmósfera.

- La capacidad de almacenamiento de CO₂ a largo plazo es incierta

La EPA estima que no todos los países tendrán suficiente capacidad de almacenamiento de CO₂ para aplicar adecuadamente la CAC. Según los investigadores de la Universidad Khalifa de Ciencia y Tecnología, es difícil calcular las capacidades exactas de los distintos lugares de almacenamiento. Esto significa que la cantidad de capacidad de almacenamiento de CO₂ en todo el mundo no es segura. Los científicos del MIT han calculado que la capacidad de almacenamiento de CO₂ en Estados Unidos es adecuada al menos para los próximos 100 años, pero sigue habiendo incertidumbre sobre cualquier plazo posterior.

- Los lugares de transporte y almacenamiento de CO₂ podrían ser peligrosos

Aunque los índices de accidentes durante el transporte de CO₂ son relativamente bajos, sigue existiendo la posibilidad de una fuga peligrosa. Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, si se produjera una fuga de CO₂ en una tubería, una concentración de entre el 7% y el 10% en el aire ambiente podría suponer una amenaza inmediata para la vida humana.

La fuga en el lugar de almacenamiento subterráneo también es una posibilidad. Si se produjera una fuga repentina de CO₂ en un lugar de inyección, podría poner en peligro la salud de las personas y los animales de los alrededores. Una fuga gradual procedente de fracturas en las capas de roca o de los pozos de inyección tiene el potencial de contaminar tanto el suelo como las aguas subterráneas de la zona que rodea el lugar de almacenamiento. Y los eventos sísmicos provocados por la inyección de CO₂ también podrían perturbar las zonas cercanas al lugar de almacenamiento.

- La percepción pública de la colocación de CO₂ cerca de ellos es negativa

El almacenamiento de carbono de la CAC tiene varios riesgos percibidos que no son populares entre el público. La implantación a gran escala de la tecnología CAC requerirá un lugar para almacenar el CO₂.

Según un estudio realizado por científicos de la Universidad de Minas de San Petersburgo (Rusia), el conocimiento del público sobre la CAC es escaso en la mayor parte del mundo. Sin embargo, cuando la gente conoce la CAC y lo que implica, suele tener una percepción neutra o positiva de ella, hasta que se trata del lugar de almacenamiento del

carbono. El efecto negativo NIMBY (Not in My Back Yard) suele ser más fuerte que la percepción positiva del público sobre la CAC. La gente tiende a rechazar que se construyan grandes proyectos como la CAC cerca de ellos por los riesgos percibidos para la salud y el estilo de vida, o por la sensación de que no es justo que el proyecto esté cerca de ellos y no en otro lugar.

12. Captura y almacenamiento de CO₂

El CO₂ es un gas de efecto invernadero que se produce naturalmente en la atmósfera. Las actividades que realizamos en nuestro día a día están aumentando la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, lo que conduce al calentamiento global del planeta. Ya sea en grandes centrales eléctricas, motores de automóviles o sistemas de calefacción, la quema de combustible produce emisiones de dióxido de carbono. Otros procesos industriales también pueden generar emisiones, como la extracción y el procesamiento de recursos o la quema de bosques.

Este gas contribuye al calentamiento del planeta, aunque no sea el único. También otros gases naturales (CH₄, N₂O) o artificiales, que son los gases creados por el ser humano (gases fluorados) forman parte de los tan mencionados gases de efecto invernadero. De hecho, su aumento en la atmósfera es lo que desencadena el cambio climático, la crisis o la emergencia climáticas. Son tres términos muy cercanos que se utilizan para describir el calentamiento global que sufre la Tierra.

Las estadísticas oficiales confirman que no han disminuido las emisiones de CO₂ durante los últimos años (excluyendo los meses de confinamientos y la caída drástica de la actividad en muchos países debido a la pandemia). En 2017, por ejemplo, la Unión Europea de los veintisiete emitió 3,9 Gton CO₂e. No todos los ámbitos de actividad industrial emiten la misma cantidad de contaminación a la atmósfera. Las emisiones se reparten, sobre todo entre cinco sectores: transporte (28%), industria (26%), generación de electricidad (23%), edificios (13%) y agricultura (12%). Sin olvidar los combustibles fósiles, que son la principal fuente (80%) de GEI.

Las consecuencias que contribuyen estos gases al planeta en un futuro no tan lejano podrían ser enormes, y en algunos lugares catastróficas, a no ser que se produzca una reducción drástica en la década que hemos empezado este año. Si la sociedad no rebaja sus índices de emisiones de CO₂ a la atmósfera, los informes científicos auguran múltiples riesgos e impactos. Por ejemplo, problemas de abastecimiento por el colapso de las cosechas, disminución del agua, subidas del nivel del mar, extinción de especies, la desaparición de ecosistemas enteros (sobre todo los más frágiles como los arrecifes de coral), el aumento de sequías, huracanes o tifones, migraciones masivas por causas climáticas y geopolíticas asociadas. Pero para solucionar el desafío del exceso de este gas, es esencial calcular la huella de carbono. “La huella de carbono se define como el conjunto de emisiones de gases de efecto invernadero producidas, directa o indirectamente, por personas, organizaciones,

productos, eventos o regiones geográficas, en términos de CO₂ equivalentes, y sirve como una útil herramienta de gestión para conocer las conductas o acciones que están contribuyendo a aumentar nuestras emisiones, cómo podemos mejorarlas y realizar un uso más eficiente de los recursos.” -*ministerio de medio ambiente*-.

Esta acumulación de CO₂ implica además graves consecuencias económicas. “El informe Stern, uno de los más reconocidos entre un gran número de trabajos que miden estos efectos, describe que un incremento medio de entre 2 y 3 grados centígrados en el calentamiento podría provocar una pérdida de hasta el 3% del (PIB) del mundo. Si el calentamiento fuera más elevado y oscilara entre 5 y 6 grados centígrados, la pérdida podría alcanzar el 10%”

Este conocimiento ha supuesto un empuje a la investigación en la búsqueda de opciones para mitigar sus probables impactos, es por ello por lo que se ha puesto en marcha el proceso de captura y almacenamiento de dicho elemento.

La captura y almacenamiento de CO₂ es una tecnología surgida en los últimos años que ha recibido gran impulso como una opción para mitigar el cambio climático y la cual consiste en capturar el dióxido de carbono de plantas industriales o de fuentes emisoras de este gas para posteriormente se almacene geológicamente de una manera segura o bien se puede reutilizar el CO₂ para su uso. Esta tecnología cumple con dos aspectos fundamentales de suma importancia para el bienestar humano, los cuales son: La regulación de gases de efecto invernadero y la reutilización (en algunos casos) de estos gases; de esta manera ayudamos a dar una mejor calidad de vida a los seres vivos y se pueden seguir utilizando los combustibles fósiles, pues casi todas las naciones requieren el uso de estos para satisfacer la demanda de la sociedad de más servicios y comodidades.

La captura y almacenamiento de CO₂ es un proceso que consiste en separar el CO₂ de fuentes industriales y energéticas, transportarlo a donde será almacenado y aislado por largos períodos de tiempo. No solo ofrece una solución más a la política de reducción de gases, también da la posibilidad de ser utilizada en procesos de recuperación de hidrocarburos y otros futuros usos actualmente en desarrollo.

13. Impactos medioambientales del dióxido de carbono

Los efectos del aumento del CO₂, así como del forzamiento radiactivo están trayendo unas consecuencias inesperadas para el medio ambiente. Ya se han observado muchos impactos del cambio climático, incluido el retroceso de los glaciares, cambios en el tiempo de los eventos estacionales, como el florecimiento precoz de las plantas, y cambios en la productividad agrícola.

El dióxido de carbono es uno de los gases responsables del efecto invernadero. Este efecto es el fenómeno por el cual el calor emitido por el sol es retenido dentro de la atmósfera. Algunos gases, como el dióxido de carbono, incrementan demasiado la retención de calor en la atmósfera y como consecuencia dan lugar a un sobrecalentamiento global.

Este sobrecalentamiento global tiene consecuencias en el clima mundial y en la vida en todo el planeta. Si bien se sabe que el clima en nuestro planeta es dinámico, en el último siglo el ritmo de estas variaciones climáticas se ha acelerado, dando lugar a un cambio climático a nivel mundial. Una de las causas de este cambio es una excesiva concentración de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, la temperatura media global ha aumentado en 0,6 °C durante el siglo XX y se cree que el aumento será de entre 1 y 5 °C en el siglo XXI o aumenta la frecuencia y la intensidad de los fenómenos meteorológicos más extremos. El cambio climático es un problema que influye en todos los demás impactos medioambientales del CO₂.

A nivel del medio marino este sobrecalentamiento global influye en el deshielo del permafrost y los grandes casquetes glaciares. Se calcula que, durante el siglo XXI, el nivel del mar aumentará entre 9 y 88 cm, dependiendo de la localización. Además, aumentarán los fenómenos de erosión y salinización en áreas costeras. Muchos arrecifes de coral pierden su coloración y mueren, afectando especies que los usan en su alimentación.

Muchas especies se desplazarán hacia latitudes más frías, buscando aquellos climas para los que están mejor adaptados. A pesar de esto, las especies animales o vegetales, que tienen menos capacidad para desplazarse, que no sean capaces de adaptarse, morirán o se extinguirán. Además, los fenómenos de deshielo también influyen en la muerte y extinción de muchas especies o por la acidificación de las aguas. Otra consecuencia es que muchas especies animales cambian sus rutas migratorias, en la búsqueda de alimento o en sus cadenas tróficas.

Recientemente, se ha visto que las plantas incrementan su crecimiento conforme aumenta la concentración de CO₂. Sin embargo, a niveles muy elevados de CO₂, la saturación del aparato fotosintético es mayor, por lo que el crecimiento no aumenta o, incluso, disminuye. Aunque no es un fenómeno totalmente comprobado.

Las principales causas del aumento de las emisiones de CO₂ son las actividades humanas. Al haber incrementado la población mundial, cada vez son mayores los requerimientos en energía, que se producen fundamentalmente por el uso de los combustibles fósiles, que producen importantes emisiones. La segunda actividad que más emisiones produce es el transporte y luego hay otras como la ganadería o la agricultura que también contribuyen.

Aunque existen diversas actividades que producen dióxido de carbono, la gran mayoría de las emisiones de dióxido de carbono se generan debido al modo en que producimos y usamos la energía. Por eso, en los próximos años es fundamental acudir a fuentes de energías limpias que sustituyan a los combustibles fósiles.

No obstante, las emisiones de dióxido de carbono puedan disminuir, como es un gas muy habitual, existen muchos fenómenos naturales como los incendios o las erupciones volcánicas que pueden liberar grandes cantidades de CO₂ al medio. Además, también es importante la capacidad de absorción del CO₂ en nuestro planeta, ejercida fundamentalmente por la vegetación, por lo que actividades como la deforestación son muy perjudiciales en este sentido.

Cuando la temperatura de la superficie del mar se calienta, se produce la fusión del hielo de los glaciares, así como de la plataforma de hielo polar. Esto provoca que aumente la cantidad de agua que desemboca en los océanos de todo el mundo, lo que en peligro numerosas ciudades que se sitúan bajo el nivel del mar.

En este sentido, los científicos sostienen que si se derrite a este ritmo el hielo de la Antártida y Groenlandia podría elevar los niveles del mar en más de 20 metros de aquí a 2100. Fenómenos atmosféricos extremos

Los gases de efecto invernadero están atrapados dentro en la atmósfera y aumentan la temperatura terrestre. Así, los estudios indican que las olas de calor serán cada vez más frecuentes durante los próximos años y en el futuro será 100 veces peor. Esto dará lugar a un aumento de enfermedades relacionadas con el calor y también desencadenará innumerables incendios.

Por otro lado, cuando la temperatura de los océanos se vuelve más cálida, las tormentas son más intensas. Por ello, el agua caliente del océano alimentará la intensidad de las tormentas y dará como resultado un mayor número de huracanes extremadamente devastadores. Esto provocará inundaciones, pérdida de vidas, así como cuantiosos daños materiales.

Contrariamente, otro de los efectos serán el aumento de sequías. Debido al calentamiento global, está disminuyendo el agua dulce, lo que a su vez lleva a un deterioro de la agricultura. Esto traerá consigo hambrunas cada vez más duraderas, como la que asolan determinados lugares de África como Somalia o Etopía. Especies en extinción y destrucción de ecosistemas.

El aumento de los gases de efecto invernadero afecta el suministro de agua, el aire limpio y a la agricultura, así como a los recursos energéticos. Las plantas y los animales mueren o se trasladan a otros hábitats (no nativos), cuando los ecosistemas de los que dependen para sobrevivir (como los arrecifes de coral) se ven amenazados.

Una característica crucial para el éxito humano es la biodiversidad, y la pérdida de flora y fauna a causa de la extinción en masa que amenazan a nuestro planeta pone en serio peligro la continuidad de la raza humana.

Enfermedades

Cuando hay un cambio en el hábitat, automáticamente se traduce en un aumento de las enfermedades en todo el mundo.

Las temperaturas más cálidas, inundaciones y sequías, se combinan y crean las condiciones adecuadas para que las ratas, mosquitos, así como otras plagas que son portadoras de enfermedades prosperen.

Enfermedades como el cólera, virus del Nilo Occidental, la enfermedad de Lyme, la fiebre del dengue... son cada vez mayores y ya no se limitan a los climas tropicales. El asma está en continuo crecimiento.

14. El incremento del CO₂ en los últimos años

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha presentado un informe en el que muestra que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha crecido en los últimos cuatro años más que en un siglo.

El dióxido de carbono (CO₂), el gas que más contribuye a este efecto aumentó su concentración a un ritmo que no se había registrado en casi 30 años, precisó el secretario general de la OMM, **Michel Jarraud** durante la presentación en Ginebra, y añadió: "*Se nos está agotando el tiempo*".

El CO₂ permanece en la atmósfera durante cientos de años. Su ciclo de vida en los océanos es aún más prolongado. Se trata del gas de efecto invernadero de origen antropógeno más importante. A él se debe el 85% del incremento del forzamiento radiactivo con un efecto de calentamiento sobre nuestro clima ocurrido durante el decenio 2002-2012.

Por lo que resultan tan preocupantes los datos del informe de la OMM. Este análisis afirma que la concentración de este gas en la atmósfera ha aumentado en los últimos cuatro años, lo mismo que en los 100 años que tardó la Tierra en pasar del período glacial al interglacial. Los niveles de gases de efecto invernadero alcanzaron un récord en 2018, un año en el que los niveles de dióxido de carbono (CO₂) llegaron a 407,8 ppm, frente a las 405,5 ppm de 2017, según datos del boletín de gases de efecto invernadero (GEI) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). y se situó en 413 ppm en 2020, pese a la relativa reducción de nuevas emisiones que provocó la pandemia de la COVID-19. La agencia de la ONU también predijo que el 2021 las concentraciones de CO₂ volverían a marcar niveles récord, y en este sentido mediciones realizadas a mitad de año en observatorios como los de *Tenerife (España)* y *Hawái (EE. UU.)* registraron concentraciones de hasta 419 ppm.

La paralización de importantes sectores de la economía global en 2020 debido a la pandemia de la COVID-19 y las consiguientes medidas sanitarias (confinamientos, cierres de fronteras, etc.) produjeron una reducción temporal de nuevas emisiones de CO₂, entre ellas un 5,6 % menos de las derivadas de los combustibles fósiles.

"Tenemos que replantearnos nuestros sistemas industriales, energéticos y de transporte, todo nuestro modo de vida", declaró el secretario general de la OMM, el finlandés **Petteri Taalas**, al presentar los nuevos datos, con los que la agencia espera influir en los compromisos que la comunidad internacional adopte en Glasgow.

El informe de la OMM también destacó que los niveles de otros gases de efecto invernadero, como el metano (CH_4) y el óxido de nitrógeno (N_2O), equivalen respectivamente a un 262 % y un 123 % de los que se estima había en 1750, antes de que las actividades humanas alteraran el equilibrio natural.

15. Conclusión

El carbono es un elemento muy importante y notable por varias razones. Sus formas alotrópicas incluyen, una de las sustancias más blandas (el grafito) y la más dura (el diamante) y, desde el punto de vista económico, uno de los materiales más baratos (carbón) y uno de los más caros (diamante). Más aún, presenta una gran afinidad para enlazarse químicamente con otros átomos pequeños, incluyendo otros átomos de carbono con los que puede formar largas cadenas, y su pequeño radio atómico le permite formar enlaces múltiples. Así, con el oxígeno forma el óxido de carbono (IV), más conocido como dióxido de carbono vital para el crecimiento de las plantas; con el hidrógeno forma numerosos compuestos denominados genéricamente hidrocarburos, esenciales para la industria y el transporte en la forma de combustibles fósiles; y combinado con oxígeno e hidrógeno forma gran variedad de compuestos como, por ejemplo, los ácidos grasos, esenciales para la vida, y los ésteres que dan sabor a las frutas; además es vector, a través del ciclo carbono-nitrógeno, de parte de la energía producida por el Sol.

La captura de carbono se presenta como una buena opción para contribuir con la mitigación de GEI. Para evitar los peores efectos del cambio climático será necesario que reduzcamos las emisiones lo antes posible. Eso significa que hay que adoptar todas las tecnologías de energía limpia, incluidas la captura, la eliminación y el almacenamiento de carbono, que serán una parte esencial de una diversidad de opciones necesarias para reducir las emisiones netas a cero a mediados de siglo.

Esta técnica de captura y almacenamiento de CO₂ es tecnológicamente factible y podría tener un papel importante en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo de este siglo. Aunque partes de esta tecnología ya son de eficacia probada, sería esencial ampliar la experiencia y el conocimiento, así como reducir las incertidumbres acerca de ciertos aspectos de la CAC para permitir su despliegue a gran escala. Las técnicas de captura y almacenamiento del CO₂ constituyen un puente desde el momento actual hasta dentro de 40-50 años, para evitar el progresivo crecimiento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, mientras se implantan las energías primarias limpias a precios competitivos.

Las tecnologías de captura de carbono aún no se han implantado a gran escala, pero el número de proyectos que se están desarrollando en todo el mundo ha aumentado considerablemente. Esto se debe tanto a la mayor ambición del sector privado como a una política cada vez más favorable.

Sin embargo, todavía se necesitan muchas más inversiones y apoyo político para conseguir una descarbonización efectiva mediante el despliegue de la captura, eliminación y almacenamiento de carbono a la escala necesaria. Sin el despliegue de tecnologías de captura de carbono, las industrias emitirán a la atmósfera unos 600GT de dióxido de carbono en los próximos 50 años, según la Agencia Internacional de la Energía (AIE). La transición energética también será probablemente más cara sin la captura, la eliminación y el almacenamiento de carbono, si es que se puede conseguir. Por lo que para el 2050 estas técnicas de captura y almacenamiento de CO₂ conllevarían a tener una reducción de casi un 20% de las emisiones que se produzcan en el año 2050.

Por producto de las altas emisiones de CO₂ es que los sistemas naturales de todo el mundo se están viendo afectados por los cambios climáticos regionales, en particular los aumentos de temperatura, y que es muy probable que esos aumentos de temperatura sean el resultado de las emisiones antropógenos de gases de efecto invernadero.

Lo más evidente es la reducción de la nieve, el hielo y el suelo congelado, lo que, a su vez, está provocando la ampliación y el aumento del número de lagos glaciales, y el aumento de la inestabilidad del suelo en las regiones de permafrost y de montaña. Aunque la mayor reducción de la extensión del hielo se ha producido en el Ártico, algunas de las más evidentes se han producido en los entornos montañosos tropicales.