

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**TECNOLOGÍAS DE CAPTURA, CONVERSIÓN Y UTILIZACIÓN DE CO₂. DESAFÍOS Y
OPORTUNIDADES FUTURAS**

**Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de Ingeniera en Mantenimiento Eléctrico**

Autor:

Diana Lizeth Rodríguez Rodríguez

Director:

PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano

Ibarra – Ecuador

2023

IDENTIFICACION DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD:	100441497-3		
APERLLIDOS Y NOMBRES:	Rodríguez Rodríguez Diana Lizeth		
DIRECCIÓN:	Ibarra. Calle Ambato 331 y 13 de Abril		
EMAIL:	dlrodriguezr@utn.edu.ec		
TELEFONO FIJO:	558 179	TELEFONO MÓVIL:	0962614604

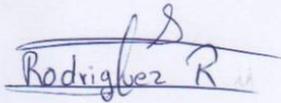
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	TECNOLOGÍAS DE CAPTURA, CONVERSIÓN Y UTILIZACIÓN DE CO ₂ . DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES FUTURAS		
AUTOR:	Rodríguez Rodríguez Diana Lizeth		
FECHA: DD/MM/AAAA	24 de enero del 2022		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Mantenimiento Eléctrico		
ASESOR/DIRECTOR:	PhD. Gerardo Isaias Collaguazo Galeano		

CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 24 días del mes de Enero de 2023

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Rodríguez R", with a horizontal line drawn through it.

Diana Lizeth Rodríguez Rodríguez

C.I.: 1004414973

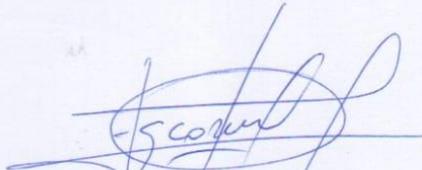
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por la señorita estudiante Rodríguez Rodríguez Diana Lizeth, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **"TECNOLOGÍAS DE CAPTURA, CONVERSIÓN Y UTILIZACIÓN DE CO2. DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES FUTURAS"** para obtención del título de ingeniero en Mantenimiento Eléctrico.

Ibarra, a los 24 días del mes de Enero de 2023



PhD. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Dedicatoria

Dedico con todo mi corazón este trabajo de tesis a mis padres el Sr. Climaco Rodríguez y Sra. María Rodríguez, por el amor, cuidado, paciencia y sobre todo el apoyo que me han brindado con esfuerzo y sacrificio para poder alcanzar mis metas.

A mis hermanas Teresa Rodríguez y Alexandra Rodríguez, por brindarme su amistad incondicional, por cuidarme con su amor de madre, por su apoyo desprendido y por confiar en mí y en mis capacidades.

A mis sobrinos Leonardo Obando y Nicole Obando que ahora más que nunca son mi motivación para ser cada día mejor.

A la memoria de mi cuñado Patricio Obando, porque siempre me brindo sus palabras de aliento y un vasito de jugo.

A Angel porque siempre está pendiente de mí, me cuida, me entiende, me apoya, me anima y cree que puedo lograr todo lo que me proponga

Diana Rodríguez

Agradecimientos

Primero agradezco a Dios y a universo por haberme brindado una familia tan maravillosa, unida comprensible y sobre todo amorosa.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico de la Universidad Técnica del Norte, y ante todo mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Ing. Gerardo Collahuazo PhD y asesor Ing Jhonny Barzola MSc, por haberme guiado durante este camino, hasta la culminación de mi trabajo de tesis, por brindarme su paciencia y responsabilidad en todo momento.

Agradezco a mis amigas de la vida, también a mis amigos y compañeros con los cuales compartí muchos momentos durante la vida estudiantil.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	VII
INDICE DE FIGURAS	X
INDICE DE TABLAS	X
Resumen	XI
Abstract.....	XII
Contextualización.....	XIII
Planteamiento del problema.....	XIV
Justificación.....	XV
Alcance.....	XV
Objetivo general.....	XVI
Objetivos específicos.....	XVI
Capítulo I	1
Emisiones de CO ₂ y sus efectos en el medio ambiente	1
1.1 Efecto invernadero	1
1.1.1 Efecto invernadero natural	1
1.1.2 Efecto invernadero provocado	2
1.2 El Cambio Climático	5
1.2.1 Principales causas del cambio climático	5
1.2.2 Consecuencias del cambio climático.....	6
1.2 El calentamiento Global.....	8
1.2.1 Causas.....	8
1.2.2 Consecuencias	9
1.3 El oscurecimiento Global	10
1.4 Gases efecto invernadero	12
1.5 Convenios internacionales sobre el cambio climático	13
1.5.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.....	13
1.5.2 Protocolo de Kioto sobre el cambio climático	14
1.5.3 El Acuerdo de París sobre cambio climático	14
1.6 Objetivos de desarrollo sostenible	15
1.7 Información y definiciones de Captura del Dióxido de Carbono.....	16
1.7.1 Captura	16
1.7.2 Las industrias que más CO ₂ emiten.....	16

1.7.3 Tecnologías de captura	17
a) Pre-combustión	18
b) Postcombustión.....	18
c) Oxidación.....	18
1.8 Información y definiciones de Conversión y utilización del Dióxido de Carbono	19
1.8.1 Conversión del Dióxido de Carbono.....	19
1.8.2 Tecnologías de captura y utilización del Dióxido de carbono	20
1.9 Utilización del CO ₂ en diferentes campos industriales.....	21
Capítulo II	22
Estado del arte de la captura, potencial de conversión y utilización de CO ₂	22
2.1 Metodología de la investigación	22
2.2 Investigaciones y estudios realizados sobre captura y conversión del Dióxido de Carbono .	23
2.2.1 Captura de CO ₂ en Pre-combustión	24
2.2.2 La Oxi - combustión del Dióxido de Carbono	27
2.2.3 La post combustión en la captura del CO ₂	28
2.3 Proceso de absorción en la captura del CO ₂	28
2.4 Tecnologías de adsorción en la captura de (CO ₂).....	31
2.5 Tecnologías de utilización de CO ₂	32
2.6 Evaluación de costes a los sistemas de captura de Dióxido de Carbono	34
2.7 Países con las emisiones más altas de Dióxido de Carbono a nivel de mundo	35
2.8 Ecuador y su emisión de Dióxido de Carbono.....	37
2.9 Países con proyectos de tecnologías Captura y almacenamiento de dióxido de carbono, Captura y utilización del dióxido de carbono y, Captura y secuestro de carbono	38
2.9.1 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono en Canadá	39
2.9.2 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono, y captura y utilización del dióxido de carbono en China	41
2.9.3 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono en Estados Unidos	42
2.9.4 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono en Islandia	43
2.9.5 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono Alemania	44
2.9.6 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono España	45

2.9.7 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono de otras potencias mundiales	46
Capítulo III	47
3.1 Componentes atmosféricos y gases efecto invernadero (GEI)	47
3.2 Los GEI durante la revolución industrial	48
3.3 La huella del CO ₂ desde la revolución industrial hasta la actualidad	49
3.5 Tecnologías de captura, potencial de conversión y utilización de CO ₂	51
3.5.1 Tecnologías de Captura	51
3.5.2 Tecnologías de conversión.....	54
3.6 Desafíos de la captura de CO ₂	56
3.7 Oportunidades de la captura de CO ₂	58
Bibliografía	62

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético.....	2
Figura 2. Las nubes reflejan la energía del Sol y bloquean las emisiones de la superficie cuando se da calentamiento.	11
Figura 3. Características de los GEI directos e indirectos.....	12
Figura 4. Tecnologías de captura del CO ₂	17
Figura 6. Captura y utilización del CO ₂ (CUC).....	20
Figura 7. Usos del CO ₂ en la industria.	21
Figura 8. Diagrama de bloques de la metodología aplicada.....	23
Figura 9. Planta con diseño de captura Pre-combustión.....	26
Figura 10. Estación de energía de la presa de frontera.....	27
Figura 11. Mecanismo de captura por oxidación.....	27
Figura 12. Absorción de CO ₂ con aminas.....	29
Figura 15. Los diez países con mayores emisiones de CO ₂ en el 2020.	36
Figura 16. Países con menor capacidad biológica.	37
Figura 17. Emisiones de CO ₂ de Ecuador 2020.....	38

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Distribución de los gases en la atmósfera.	3
TABLA 1.2 Forzamiento radiativo de GEI con concentraciones uniformes en el año de 1750.....	4
TABLA 1.3 Causas antrópicas del cambio climático.	5
TABLA 1.4 Impactos del cambio climático a los recursos del planeta.....	7
TABLA 1.5 Técnicas de Captura y Almacenamiento de CO ₂	19
TABLA 2.7 Solventes químicos para remoción de CO ₂	29
TABLA 2.8 Ventajas y desventajas de los mecanismos de absorción física o química.	30
TABLA 2.9 Ventajas y desventajas en la adsorción del CO ₂	31
TABLA 2.10 Productos que se puede obtener con técnicas de Captura y Utilización de CO ₂	33
TABLA 2.11 Costes de tecnología de Pre-combustión.....	34
TABLA 2.12 Costes de tecnología post combustión.....	35
TABLA 3.13 Componentes gaseosos del aire atmosférico y su aporte al calentamiento global.....	47
TABLA 3.14 Gases de efecto invernadero durante la actividad humana del año 1800.	48
TABLA 3.15 Relación entre las emisiones de CO ₂ y la temperatura global.....	49
TABLA 3.16 Variación de la temperatura desde el año 1800 hasta el año 2020.....	50
TABLA 3.18 Mecanismos utilizados para la captura de CO ₂ utilizados en todo el mundo.....	51
TABLA 3.19 Estudios e investigaciones de la captura de CO ₂ , usos y aplicaciones.....	54
TABLA 3.20 Retos sobre la captura de CO ₂	56

Resumen

El desequilibrio gaseoso en la atmósfera desencadena una serie de consecuencias negativas para el planeta, la causa es el uso de combustibles fósiles en la producción de energía y derivados del petróleo, lo que ocasiona el aumento de la temperatura global, este trabajo presenta un estudio del estado del arte de la captura, potencial de conversión y utilización de CO₂, mediante el análisis de tecnologías innovadoras para una gestión integral del carbono. Describe las tecnologías de captura: pre-combustión, post-combustión y oxi-combustión, de la misma manera, los mecanismos de conversión donde el gas es utilizado para la elaboración de productos aislantes, fertilizantes y polímeros. Para su desarrollo se utilizó bibliografía presente en plataformas de intercambio como E-libre, Science Direct, Scopus y Springer. Los resultados obtenidos indican que la temperatura aumentó 1,5 °C. desde la época industrial, los países con mayor número de proyectos de captura y utilización de CO₂ son los Estados Unidos, China, Alemania y los países de la Unión Europea. En definitiva, las tecnologías mencionadas anteriormente son herramientas que combaten el cambio climático, siendo un desafío mantener las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) de las industrias en límites permisibles incluso en cero al momento de producir servicios como energía, cemento, papel, y derivados del petróleo sin incrementar costos de producción, por su parte las oportunidades futuras es convertirse en una alternativa de negocio desde el punto de vista tecnológico, esto porque las tecnologías de captura y conversión se van expandiendo a diversos factores industriales para cumplir con las exigencias ambientales internacionales.

Palabras clave: Captura CO₂, conversión CO₂, utilización, CO₂ desafíos y oportunidades futuras CO₂.

Abstract

The gaseous imbalance in the atmosphere triggers a series of negative consequences for the planet, the cause is the use of fossil fuels in the production of energy and petroleum derivatives, which causes the increase in global temperature, this work carries out a study of the state of the art of capture, conversion potential and use of CO₂, through the analysis of innovative technologies for comprehensive carbon management. It describes the capture technologies: pre-combustion, post-combustion and oxy-combustion, in the same way, the conversion mechanisms where the gas is used to make insulating products, fertilizers and polymers. For its development, it drew bibliography present in exchange platforms such as academic E-libre, Science Direct, Scopus and Springer. The results obtained indicate that the temperature increased by 1.5 °C. Since the industrial era, the countries with the largest number of CO₂ capture and utilization projects are the United States, China, Germany, and the countries of the European Union. In short, the technologies mentioned above are tools that combat climate change, being a challenge to keep greenhouse gas emissions from industries within permissible limits, even zero when producing services such as energy, cement, paper, and petroleum derivatives. without increasing production costs, on the other hand, future opportunities are to become a business alternative from a technological point of view, because capture and conversion technologies are expanding to various industrial factors to meet international environmental requirements.

Keywords: CO₂ capture, CO₂ conversion, CO₂ use, CO₂ challenges and future opportunities.

Contextualización

El dióxido de carbono es un elemento que siempre ha estado presente en la atmósfera, no obstante, desde la década de 1750 por la era industrial, los GEI han aumentado; de acuerdo con Baethgen, el CO₂ ha incrementado más del 30%, el CH₄ más del 100% y el N₂O en un 15%. Cuando se encuentra una suficiente cantidad de los gases anteriormente nombrados, los rayos del sol quedan atrapados en la atmósfera, actuando como el techo de vidrio de un invernadero y por ende la temperatura de la tierra incrementa, es por eso el nombre de los GEI. (Parada, 2017)

El uso de recursos energéticos tradicionales provoca descargas de dióxido de carbono, el CO₂ es un gas producto del efecto invernadero (Khan, Khan, & Rehan, 2020). Según el Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (2019), los niveles de emisión de CO₂ en el año 2019 fueron de 38.639 miles de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (kton CO₂ eq) por actividad, el transporte es el principal sector contaminante (49,99%) del total de emisiones, le sigue la generación de energía (19,32%), otras emisiones (9,51%), residencial (8,50%), industria 8,26%, comercial (3,26%), agropecuaria, minería y pesca (1,12%).

El consumo de combustibles fósiles se ha incrementado en los últimos 150 años para satisfacer su demanda de generación de energía. Sin embargo, el aumento del consumo de combustible ha provocado considerables emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente dióxido de carbono (CO₂), que es uno de los principales problemas actuales en el mundo relacionados con el impacto ambiental. Puede provocar el cambio climático y un aumento gradual de la temperatura del globo y, en consecuencia, tiene un impacto negativo en la población mundial, la salud ambiental y el desarrollo económico. (Cao, et al., 2021)

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, Senplades. (2017) menciona que existe una responsabilidad ética con las actuales y futuras generaciones para que se mantenga, precautele y se dé soporte a la vida en todas sus formas; así como para que se reconozca el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. (...). El Programa de Gobierno establece que “la Revolución Ecológica debe ser la consolidación del cambio de la matriz productiva y de la matriz energética, como base para la generación de empleo y riqueza, reduciendo las emisiones que contribuyen al cambio climático y garantizando la conservación y el mantenimiento de nuestro patrimonio natural” (Movimiento Alianza PAIS, 2017, 57).

Debido a la intensificación de las actividades humanas, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado en un 30% desde la revolución industrial, y el equilibrio se ha ido destruyendo gradualmente. Para solucionar los efectos adversos de los gases de efecto invernadero, la

comunidad internacional ha formulado la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kioto para restringir las emisiones de gases de efecto invernadero. (Liu A, et al., 2020)

Entre los objetivos de la reducción de emisiones se encuentra la disminución de la temperatura, las vías para lograr el objetivo de moderación de la temperatura global de 1,5 a 2 ° C implican un aumento masivo de las tecnologías de eliminación de dióxido de carbono (CO₂). (Breyer, Fasihi, & Aghahosseini, 2020)

La captura de CO₂ poscombustión por un sistema de adsorción por oscilación de presión de vacío rápida a escala industrial RVPSA en una planta de reformado de vapor a gran escala, demuestra que es posible lograr un nivel de CO₂ con tan alta pureza y recuperación como sea posible y al mismo tiempo para minimizar el consumo de energía en comparación con los sistemas convencionales en el típico rango 1.2–1.8 MJe / kgCO₂. (Capocelli, et al, 2019)

Planteamiento del problema

Actualmente el Dióxido de Carbono (CO₂) es la principal causa del efecto invernadero. Los niveles de CO₂ en el ambiente ha ido aumentando, debido al crecimiento de la población y el desarrollo de nuevas tecnologías, para satisfacer las necesidades humanas como: transporte, electricidad, comercio, servicio público, industria, el uso del suelo, de los cuales el sector energético y la industria petrolera son los responsables de la mayor cantidad de emisiones de los Gases de Efecto Invernadero GEI.

La presencia excesiva de CO₂ en la atmósfera contribuye al incremento de la temperatura global que trae consigo el deshielo del antártico y la pérdida de glaciares, factor que incide en el aumento del nivel del mar, también, ocasiona fenómenos meteorológicos extremos, degradación ambiental e incendios forestales, esto a su vez, conlleva a la pérdida de especies animales y vegetales, además puede favorecer el desarrollo de enfermedades resistentes a los tratamientos. (Roca, Beltrán, & Gómez, 2019)

En los países en vías de desarrollo la realidad es similar que en aquellos industrializados. Los niveles de contaminación por GEI entre los que prevalece el CO₂ es cada año superior, esto por el efecto antrópico y la utilización de recursos energéticos.

El conocimiento mediante la ciencia ha permitido desarrollar mecanismos para la mitigación del calentamiento global producido por gases efecto invernadero, haciendo uso de la tecnología y la utilización de herramientas que contribuyan al bienestar colectivo, siendo menester conocerlas y utilizarlas.

¿Qué tecnologías se pueden aplicar para la captura, conversión y utilización de las emisiones de CO₂?

Justificación

En la actualidad es más evidente el calentamiento global, por el aumento en los niveles de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, sobre todo del dióxido de carbono (CO₂), debido a que existe un aumento de la temperatura, afecciones ambientales y repercusiones en la salud del ser humano. Durante varias décadas se dieron discursos transnacionales sobre el riesgo del cambio climático. A través de la Declaración de Estocolmo, la Declaración de Río, el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París se lograron principios y compromisos que tienen el fin proteger el medio ambiente, reducir la cantidad emisiones de gases tipo invernadero y proteger los recursos para las generaciones futuras. Dentro de los acuerdos internacionales se ahonda en diversas áreas de protección al medio ambiente. Una de las principales y más importantes es la del sector energético.

La aplicación de los procesos de captación de CO₂ y conversión de energía a partir de las emisiones, puede generar grandes cambios como la reducción de la temperatura global, además es una nueva forma de generación de energía eléctrica. Esta investigación va a permitir generar un sustento bibliográfico para futuras investigaciones acerca del tema, sobre todo a nivel nacional debido a que existen pocas investigaciones al respecto.

Alcance

La recuperación de carbono tiene el potencial de reducir las emisiones de CO₂. En el presente trabajo se pretende realizar un análisis de las emisiones y sus efectos ambientales. Para el cumplimiento de los objetivos se hará una revisión bibliográfica y una descripción de las tecnologías enfocadas de captura y obtención de energía eléctrica a partir del CO₂ capturado, haciendo uso del internet y el repositorio digital de perteneciente a la Universidad Técnica del Norte. La investigación servirá para generar un sustento bibliográfico en el cual se va a determinar los desafíos y oportunidades futuras de la conversión y utilización del CO₂ como parte integral de la gestión del carbono.

Objetivo general

Realizar el estudio del estado del arte de la captura, potencial de conversión y utilización de CO₂, mediante el análisis de tecnologías innovadoras para una gestión integral del carbono.

Objetivos específicos

Analizar las emisiones de CO₂ y sus efectos en el medio ambiente.

Describir las tecnologías de captura y conversión de CO₂.

Determinar los desafíos y oportunidades futuras de la conversión y utilización del CO₂ como parte integral de la gestión del carbono.

Capítulo I

Emisiones de CO₂ y sus efectos en el medio ambiente

1.1 Efecto invernadero

1.1.1 Efecto invernadero natural

La naturaleza como un complejo rompecabezas ha ubicado estratégicamente piezas en todos sus componentes. La parte externa del planeta llamada atmósfera, es considerada como un fluido constituido por diferentes tipos de gases en la que se utiliza las propiedades físicas y químicas de estos para cumplir con la función de absorción de energía. Esta capa gaseosa alberga en su interior moléculas constituidas por diferentes átomos que se encuentran unidas por enlaces químicos débiles que determinan su dirección de movimiento, rotación y vibración, son factores aprovechados en la absorción de energía, esto a su vez determina, un aumento de temperatura. En palabras comprensibles, los movimientos internos de las moléculas del gas permiten la absorción de energía.

La atmósfera posee la característica de tener la capacidad de absorber radiación de longitudes de onda corta que comprende la radiación ultravioleta del sol, por la presencia del gas Ozono (O₃); también tiene la posibilidad de absorber radiaciones infrarrojas o de onda larga que viene de la superficie de la Tierra, por tener en su estructura vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂) y otros gases traza como el metano (CH₄) y el óxido nitroso (NO). A hora bien, la absorción de la energía proveniente del sol es realizada por el ozono, el cual permite el calentamiento de la subcapa de la atmósfera conocida con los nombres de estratosfera y mesosfera.

Por su parte, los gases más pesados: dióxido de carbono, vapor de agua y metano absorbe radiación infrarroja que viene de la tierra calentando la atmósfera, al mismo tiempo que la estimula a la producción de radiación de onda larga, cuyo resultado es una parte de tres es disparada al espacio y dos terceras partes son devueltas a la superficie de la Tierra, esto permite que se incremente la energía calórica en la superficie de la Tierra en escalas hasta los 33 °C lo que permite la existencia de la vida, si este proceso no se realizara el planeta tendría una temperatura inferior a los 0 °C.

De todo esto se determina que los gases que absorben la radiación infrarroja que proviene de la Tierra se les conoce con el nombre de gases efecto invernadero (GEI), entre ellos están Metano, Dióxido de carbono, vapor de agua y óxido nitroso, Estos gases tienen moléculas cuya frecuencia de vibración se localiza en la parte infrarroja del espectro.

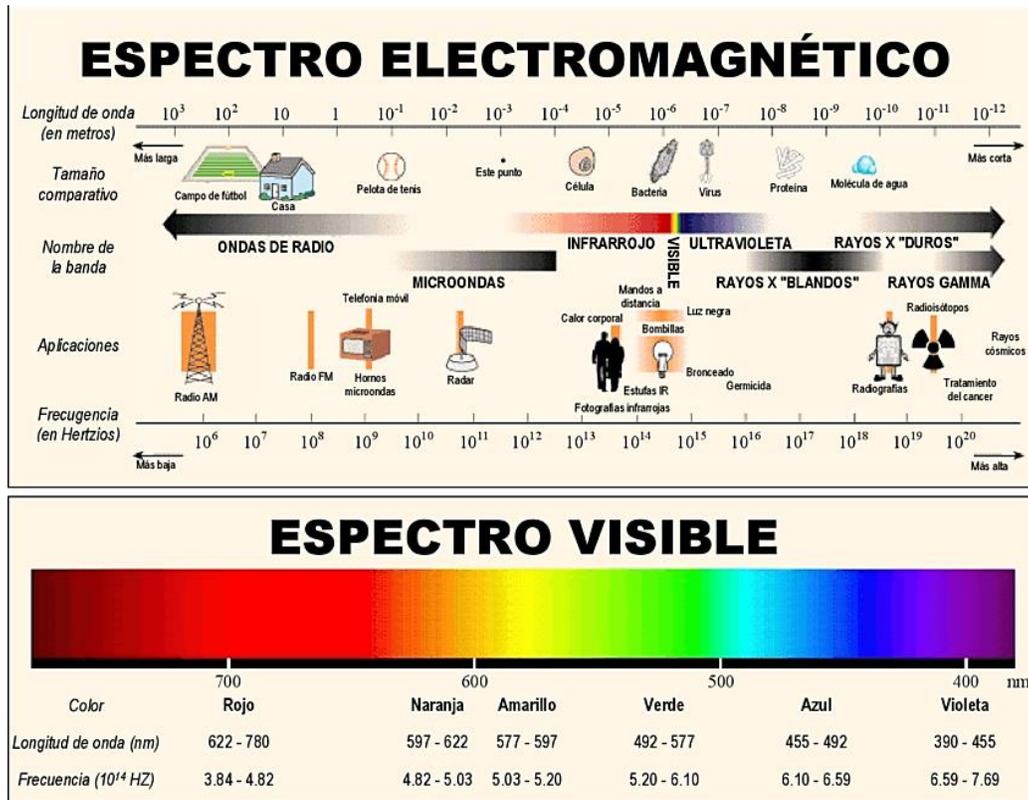


Figura 1. Espectro electromagnético

Fuente: <https://esquema.net/espectro-electromagnetico-2/> (2021)

En la Figura 1 se muestra un esquema que contiene el espectro electromagnético.

1.1.2 Efecto invernadero provocado

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, la atmósfera es una capa que se encuentra recubriendo el planeta y es de gran importancia para el intercambio energético. La estructura de esta capa gaseosa es de alrededor de 10000 Kilómetros de espesor.

TABLA 1.1 Distribución de los gases en la atmósfera.

GRUPO	NOMBRE DEL GAS	FORMULA	PORCENTAJE %
Gases ligeros	Oxígeno	O ₂	20,95 %
	Nitrogeno	N ₂	78,08 %
Gases nobles	Argón	Ar	0,93 %
	Neón	Ne	0,0018%
	Metano	CH ₄	0,00017 %
Gases efecto invernadero (GEI)	Vapor de agua	H ₂ O	0% - 4%
	Dióxido de Carbono	CO ₂	0,036%
	Ozono	O ₃	0,000004%
	Óxido de nitrógeno	N ₂ O	0,000031%

*Nota: Adaptado de (Camilloni, Ines & Vera, Carolina, sf)
<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>*

La atmósfera está conformada por la presencia de gases como el Oxígeno, Nitrógeno, Argón, Neón, Metano, vapor de agua, Dióxido de carbono, Ozono y óxidos de nitrógeno, en concentraciones diferentes como se muestra en la Tabla 1.1.

Como se puede observar los GEI, ocupan un porcentaje muy reducido en la composición de la atmósfera y son aquellos que pueden determinar la absorción, dispersión y emisión de la radiación dentro de ella y en la superficie de la litosfera. El balance energético que se presenta entre los componentes de la atmósfera y la superficie terrestre se la denomina forzamiento radiativo.

El forzamiento radiativo es el cambio en el flujo neto de energía radiativo hacia la superficie de la Tierra, como resultado de cambios internos en la composición de la atmósfera, o cambios en el aporte externo de energía solar. (Fundación Naturklima, 2020, p.13)

Esta alteración de desfase de la energía se da por cambios en la concentración de uno o varios gases efecto invernadero como también por la cantidad de radiación emitida por el sol.

Para Meteoglosario Visual (2018), “La medida de la influencia que tiene la alteración del balance entre la radiación solar incidente y la radiación infrarroja saliente en el sistema atmósfera – Tierra, es el forzamiento radiativo y se puede expresar en vatios por metro cuadrado (W/m^2)” (p.2).

TABLA 1.2 Forzamiento radiativo de GEI con concentraciones uniformes en el año de 1750

Nº	Gases efecto invernadero (GEI)	Forzamiento radiativo	Vatios por metro cuadrado (W/m^2).
1	Dióxido de Carbono	Positivo	1,66
2	Metano	Positivo	0,48
3	Vapor de agua		
4	Ozono	Positivo	0,35
5	Óxido Nitroso	Positivo	0,16
6	Los clorofluorocarburos	Positivo	0,028
7	Hidroclorofluorocarburos	Positivo	0,033

Nota: adaptado de Ideam. (2020). Información técnica sobre gases de efecto invernadero. Bogotá. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf>
Las unidades de medida de física y matemáticas de la Intensidad es (W/m^2). Vatios por metro cuadrado.

En la Tabla 1.2 se muestra la presencia de los gases atmosféricos y su respectiva concentración en la atmósfera ya alterada por la actividad humana y la contribución a la formación del denominado forzamiento radiativo positivo que es el calentamiento de la atmósfera.

Para el año 2021 las cifras descritas anteriormente se han incrementado en un 47 %, y cerca del 80 % de ese incremento se debió al CO_2 , que como se observa es el principal dentro del forzamiento radiativo positivo. (Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático [IPCC], 2021).

La comunidad científica emplea el término forzamiento radiativo para definir el cambio en el flujo neto de energía radiativa hacia la superficie de la Tierra, las mediciones de este fenómeno se realiza en el borde superior de la troposfera - 12.000 m sobre el nivel del mar, la unidad de medida es vatios por metro cuadrado (W/m^2). Los cambios en la composición de la atmósfera o cambios de energía solar modifican este flujo, así un forzamiento radiativo positivo es calentamiento de la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo supone su enfriamiento. Se menciona de forma reiterada que nunca desde hace millones de años la concentración de CO_2 a sido tan

elevada como la que se vive actualmente cuyo inicio empieza desde la revolución industrial que ocasionó el desequilibrio de los gases atmosféricos por efecto antropogénico. (Fundación Naturklima, 2022)

1.2 El Cambio Climático

En el informe de El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU (IPCC, 2021), se define como cambio en el clima con el tiempo, debido a la variabilidad natural o como resultado de actividades humanas.

Desde el punto de vista meteorológico, se llama Cambio Climático, a la alteración de las condiciones predominantes. Los procesos externos tales como la variación de la radiación solar, variaciones de los parámetros orbitales de la Tierra (la excentricidad, la inclinación del eje de la tierra con respecto a la eclíptica), los movimientos de la corteza terrestre y la actividad volcánica son factores que tienen gran importancia en el cambio climático. Procesos internos del sistema climático también pueden producir cambios de suficiente magnitud y variabilidad a través de interacciones entre sus elementos. (Ideam, 2020, p. 28).

El clima depende del equilibrio de la radiación presente en la atmósfera, determinado por la cantidad de energía que ingresa al planeta mediante la radiación solar y la cantidad de los gases efecto invernadero. Este trabajo de absorber energía del sol y reenviarla en forma de onda larga luego de su contacto con la corteza terrestre, controla un verdadero sistema climático que mantiene la vida. De esta manera, el clima se ajusta a la presencia e incremento de los gases efecto invernadero, dicho de otra manera, mayor cantidad de GEI en la atmósfera mayor temperatura climática, lo que ocasionará aumento de la temperatura global que a su vez desencadena fenómenos naturales como el aumento del nivel de los mares, precipitaciones, inundaciones, huracanes, entre otros que tienen consecuencias irreparables en los ecosistemas y vida de las personas.

1.2.1 Principales causas del cambio climático

TABLA 1.3 Causas antrópicas del cambio climático.

Nº	Actividades	Resultados
1	Edificaciones antiguas	Desgaste de energía
2	Industrias petroleras y químicas	Producen Residuos CFCs y HCFCs

3	Sobrepoblación	Demanda alimentaria y producción de desechos (basura plástica y orgánica) Descomposición de materia produce CH ₄ y CO ₂ .
4	Sistema alimentario no sostenible	Producen aumento de CH ₄ por la ganadería y CO ₂ por la deforestación.
5	Derroche de energía	Mayor emanación de CO ₂ resultado de combustión de materiales fósil.
6	Deforestación	Aumento de CO ₂ .
7	Transportes contaminantes	Aumenta emanaciones de CO ₂ producto de quemar combustibles fósiles.
8	Producción de abonos a base de Nitrógeno	Aumento de óxido nitroso

Nota: adaptado de Comisión Europea, 2020
https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es

En la Tabla 1.3 se representa las actividades antrópicas y los resultados productos de estas, los cuales dan como consecuencia principal el cambio climático del planeta.

1.2.2 Consecuencias del cambio climático

Según el informe emitido por Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2021), las emisiones de gases efecto invernadero por la actividad humana han acelerado el calentamiento global en 1,1 °C. y para los próximos 20 años superará el 1,5 °C. esto determina una variación en el clima de todas las regiones del planeta, es necesario indicar que en algunas zonas ya se puede observar consecuencias del incremento de la temperatura. Sin embargo, esto se generalizará produciendo un aumento de las olas de calor, se alargarán las estaciones cálidas y se acortarán las estaciones frías; mientras que con un calentamiento global de 2 °C los episodios de calor extremo alcanzarían con mayor frecuencia umbrales de tolerancia críticos para la agricultura y la salud.

TABLA 1.4 Impactos del cambio climático a los recursos del planeta.

Nº	Recursos	Consecuencias
1	Agua	Alteración del ciclo hidrológico.
		Acidificación
		Aumento continuo del nivel del mar
		Aumento de precipitaciones en zonas altas
		Deshielo del permafrost, pérdida de la capa de nieve estacional, derretimiento de los glaciares y los mantos de hielo.
2	Aire	Vientos secos
		Presencia de partículas de polvo
		Huracanes
3	Suelo	Tierras infértiles
		Erosión y pérdida de la capa húmica
		Movimientos de tierra y deslaves
4	Flora	Desaparición de especies de plantas.
		Disminución de alimentos
5	Fauna	Muerte por falta de adaptación
		Desaparición y ruptura de cadenas trópicas
		Proliferación de especies consideradas como plagas trasmisoras de enfermedades.
		Muerte por falta de alimento

*Nota: adaptado de Manos Unidas , 2022
<https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/impacto-cambio-climatico>*

En la Tabla 1.4 se señala los efectos producidos sobre los recursos naturales, debido al aumento de la temperatura global, debido a la emisión de gases de efecto invernadero como resultado de las actividades humanas.

La especie humana es la de mayor afectación, la falta de alimento, el aumento de enfermedades de origen vírico, bacteriano, fúngico, entre otras como quemaduras por radiación, cáncer a la piel, hipertensión por el aumento de temperatura ambiental, enfermedades renales por la falta de disposición de agua de consumo humano producirán la muerte de un gran número de la población.

1.2 El calentamiento Global

La comunidad mundial ha tenido que enfrentar grandes problemas a lo largo de la historia de la civilización. La falta de conocimiento, la inconsciencia y el mal manejo de recursos sumada a la ambición desmesurada del hombre, deja destrucción, catástrofe y muerte. La naturaleza ha ido sufriendo golpes tremendos generación tras generación, sin embargo, en los últimos años la estocada final parece haberse dado a este planeta azul que por efectos contaminantes en su atmósfera se está tornando negro rojizo, colores que se asigna a la desolación.

En los últimos años de esta década el calentamiento del planeta se ha incrementado en cifras alarmantes, un informe publicado por La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2022), manifiesta que “en 2021 la temperatura media mundial superó en aproximadamente 1,11 ($\pm 0,13$) °C los niveles preindustriales (1850-1900)” (p.4). De forma aparente la cifra es pequeña, no obstante, expertos señalan que una temperatura global de 1,5 °C causaría perturbaciones climáticas sin precedentes, tales como: tormentas intensas, lluvia seguida de sequías más prolongadas, incendios forestales, deshielo, aumento del nivel del mar, huracanes que conllevarían a la destrucción de la vida en el planeta.

Sin embargo ¿Qué es el calentamiento global? Se define como el fenómeno ocasionado por los cambios promedio del aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre. De una forma técnica se lo define como el aumento gradual de la temperatura de la tierra (incluyendo la atmósfera y los océanos). Esto, como resultado del incremento de gases de efectos invernadero que se caracterizan por retener el calor. (Organización de Naciones Unidas, 2019).

1.2.1 Causas

Entre las causas se puede mencionar las naturales y las que son provocadas por la mano del hombre. Las primeras son los factores naturales externos al clima como, cambios en la actividad volcánica, la radiación solar y la órbita de la Tierra alrededor del Sol, esto genera un cambio entre la cantidad de energía que entra a la Tierra y la energía que sale de ella. Las segundas son las que mayor impacto han producido al cambio climático a consecuencia de la utilización desmedida

de combustibles fósiles, el carbono y el gas a grandes escalas, cuyos residuos fruto de la combustión son enviados a la atmósfera en forma gaseosa conocidos como gases efecto invernadero, cuya presencia altera la radiación solar entrante y la radiación saliente.

Entre estos gases podemos citar al principal, él (CO_2) producto de la combustión del metano y combustibles fósiles; los productos fluorocarbonados resultados del uso de aerosoles y el de mayor relevancia es el aumento de zonas ganaderas que produce cantidades enormes de metano resultado de la digestión de vacas, ovejas, caballos, y otras especies menores que para su mantención se tuvo que sacrificar vegetación autóctona cuya función era absorber CO_2 y expulsar Oxígeno (O_2), mecanismo que forma parte de la fotosíntesis y regula el intercambio gaseoso en la atmósfera.

1.2.2 Consecuencias

Un aumento de la temperatura del planeta produce alteraciones a la vida del planeta y los perjudicados directos es la especie humana, vegetal y animal. En este apartado se menciona los principales efectos: La vulnerabilidad de los derechos humanos, especialmente en países subdesarrollados, la soberanía alimentaria, el derecho al trabajo justo y bien remunerado, como también el goce del buen vivir se ve afectado por múltiples desastres naturales que dejan daños económicos y sociales irreparables. De la misma manera, los cambios a la temperatura afectan a la biodiversidad del planeta esto porque sus hábitats se están perdiendo agua aspecto que desencadena la desaparición de muchas especies. Hancock (2019), explica que cerca del 47% de los bosques del mundo enfrenta un alto riesgo de deforestación o degradación para el año 2030. Y los ecosistemas más propensos a ser destruidos son: arrecifes de coral, bosques de niebla, humedales costeros, selvas secas, solo por mencionar algunos.

Como un factor que contribuye a la desaparición de algunos ecosistemas es la presencia de especies animales invasores o aquellas consideradas migratorias, existe lugares donde el cambio del clima ha provocado que especies consideradas plagas que se presentaban solo en determinadas estaciones del año ya sean habitantes permanentes. Recordemos que los ciclos vitales de algunas especies están ligados a patrones atmosféricos, estudiados por la ciencia llamada Fenología.

El calentamiento global tiene una influencia directa en el ciclo del agua. Mediante la trayectoria el agua se depura se dirige a las montañas y vuelve a caer a la superficie en forma de lluvia, un aumento significativo en la temperatura produciría precipitaciones extensas inundaciones, el deshielo de los glaciares reduciría la disponibilidad de agua de consumo humano, los humedales

o reservas de agua de las montañas se secarían dejando a la humanidad desprovista de este líquido vital. Las zonas geográficas que se afectan con las sequías son las más calurosas y son aquellas que más agua necesitan, esto está provocando la desestabilización económica de grandes territorios.

Manos Unidas (2021), menciona que, si los (GEI) siguen aumentando, el deshielo provocará una elevación del océano global de entre 1 y 37 centímetros, lo que ocasiona perturbaciones a la flora y fauna costeras y aquellas que habitan en los casquetes polares.

1.3 El oscurecimiento Global

En la década de los 60 se realizaron una serie de experimentos relacionados con la cantidad de energía luminosa que presentaban algunos lugares del planeta, aparentemente existía una reducción significativa de la energía lumínica. En los años 90, Gerry Stanhill, realiza múltiples observaciones en varios lugares del mundo sobre el fenómeno de disminución de la luz e incorpora un término denominado oscurecimiento global, que es la reducción de la cantidad de radiación solar que llega a la superficie terrestre, gradual y globalmente, aproximadamente en un 10%.

El oscurecimiento global se estaría generando al acumularse en las capas altas de la atmósfera partículas diminutas, provenientes en su mayor parte de la actividad industrial, la combustión de los motores o el uso de aerosoles, aunque sin olvidar agentes naturales como las cenizas de los incendios forestales o de las erupciones volcánicas. Algunos científicos han apuntado también a las estelas de humo de los aviones como otra posible causa más. (Thakur, 2020)

Esto significa que las nubes han aumentado la capacidad de reflejar la luz proveniente del sol y desvaírla al espacio, esto por la presencia de partículas de carbono, lo que provocaría que la luz requerida por las plantas disminuya e interrumpa parcialmente el proceso fotosintético que realizan las plantas generando como gran consecuencia la elevación de concentraciones de CO₂ en la atmósfera lo que contribuye al calentamiento global. (Thakur, 2020)

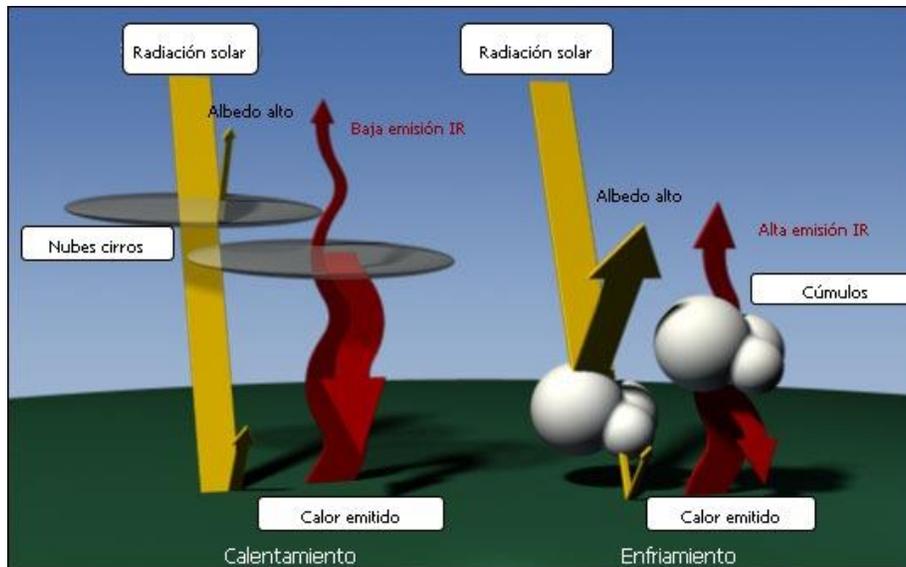


Figura 2. Las nubes reflejan la energía del Sol y bloquean las emisiones de la superficie cuando se da calentamiento.

Fuente: <https://www.divulgameteo.es/fotos/lecturas/Oscurecimiento-global.pdf> Modificación de la NASA, modificado por el autor

La Fig. 2 muestra el efecto espejo de la atmósfera, el cual es causado por el aumento de la presencia de partículas producto de la quema de combustibles fósiles, carbón, petróleo e inclusive incendios forestales y la erupción de volcanes, provocando así el oscurecimiento global.

1.4 Gases efecto invernadero

Este trabajo de investigación pretende analizar al principal gas efecto invernadero directo que es el (CO₂).

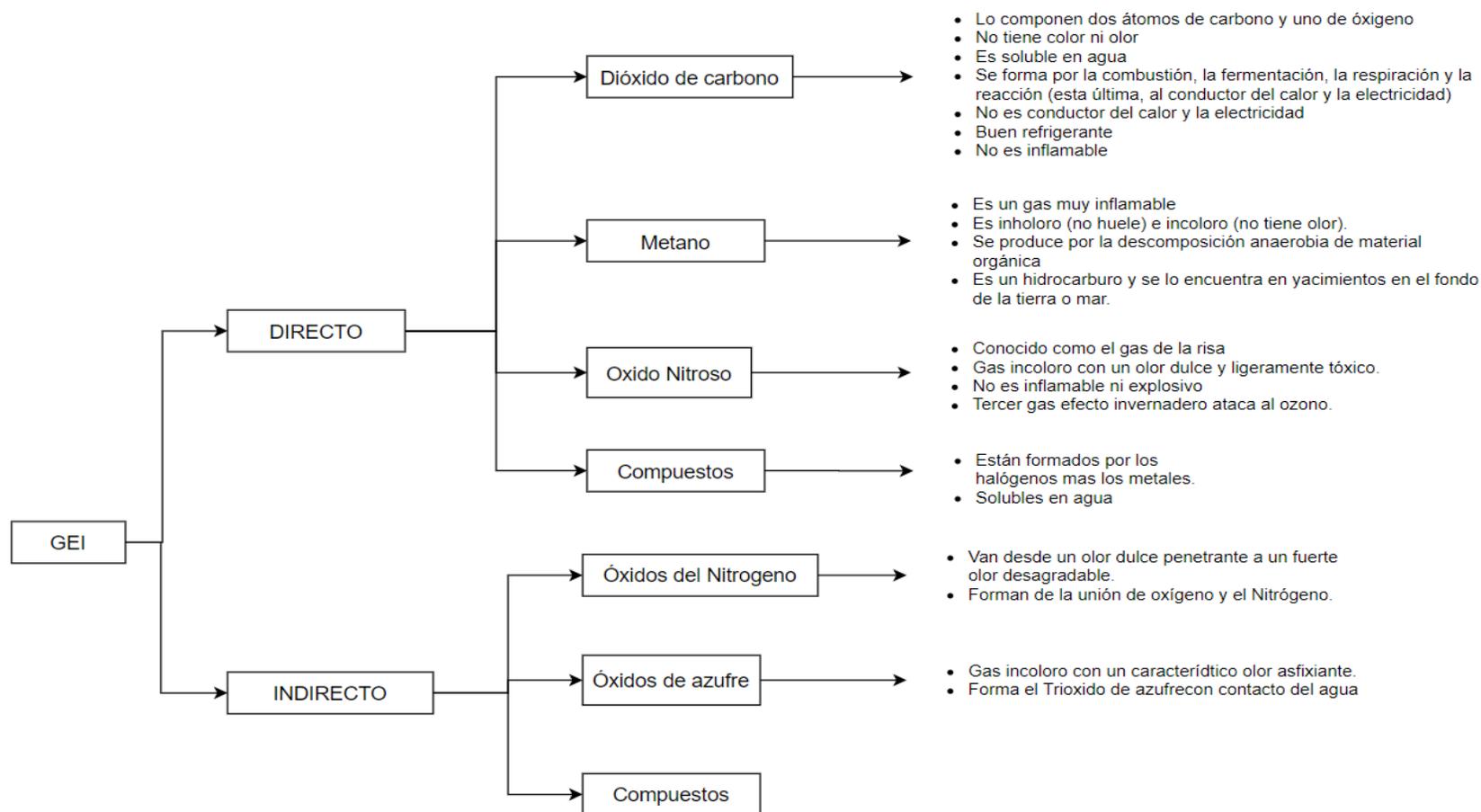


Figura 3. Características de los GEI directos e indirectos.
Fuente: Adaptado de (Aquea Fundación , 2022)

En la Figura 3 se puede observar un esquema que contiene una breve descripción las características de los elementos que componen los gases de efecto invernadero tanto de tipo directo e indirecto

El CO₂ es un componente del aire, su función es producir un efecto invernadero en la Tierra, que comprende el mantenimiento del calor en la superficie terrestre en la capa atmosférica denominada troposfera, esto permite la vida, los animales aprovechan el oxígeno del aire y lo transforman en (CO₂) mediante la respiración, al mismo tiempo la planta captura este gas y lo regresan a los ecosistemas en forma de oxígeno durante la fotosíntesis, de este modo se mantiene en equilibrio el planeta.

De todas formas, desde la industrialización este complejo sistema se ve afectado. Desde 1812 la comunidad científica ha venido midiendo la concentración del gas en la atmósfera, según el IPCC, 2001, las mediciones directas solo son confiables después de 1957, a partir de mediciones de las burbujas de aire atrapadas en el hielo antártico. Este proceso se lleva a cabo mediante el análisis de los gases retenidos en muestras de hielo, obtenidas a distintas profundidades de la Antártica y Groenlandia (Con perforaciones de hasta 2000 m), esto ha permitido conocer la concentración del CO₂ atmosférico y de otros gases de efecto invernadero, durante por lo menos 150.000 años.

Solo como dato adicional cada año la capa de hielo de los casquetes polares se renueva dejando enterrada la anterior, lo que permite el reconocimiento de los elementos presentes, gracias a este método se sigue la huella que ha dejado el (CO₂) a través de los años.

En el año 1950, la concentración de (CO₂) alcanzaba los 275 partes por millón (ppm), dato que se ha obtenido gracias al método de perforación de los glaciares descrito anteriormente, con esta concentración la temperatura ha permitido la existencia de las diferentes especies de animales y plantas. En 2000 el nivel de (CO₂) llega a 365 ppm. Lo que resulta ideal, por otra parte, en septiembre del 2012 asciende a 393 ppm. (Ramírez, V., et al, 2021, p. 129). Mediciones actuales del dióxido de carbono atmosférico en el Observatorio de referencia atmosférica Mauna Loa de la NOAA arroja resultados alarmantes, en 2021 el promedio mensual del (CO₂) es de 419 ppm cifra nunca registrada. (Observatorio Mauna Loa , 2021,párr. 1)

1.5 Convenios internacionales sobre el cambio climático

1.5.1 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, adoptada en 1992 y entró en vigor en 1994, y ha sido ratificada por 195 países. La Convención reconoce la existencia del problema del cambio climático, y establece un objetivo común que es: Estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, evitando en lo posible las interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Además, indica que ese nivel

debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), 2019)

1.5.2 Protocolo de Kioto sobre el cambio climático

En palabras comprensibles, el protocolo compromete a los países industrializados a limitar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de conformidad con las metas individuales acordadas en la propia Convención, solo pide a esos países que adopten políticas y medidas de mitigación y que informen periódicamente. Este tratado mediante sus normativas responsabiliza a los países a la búsqueda de soluciones concretas que reduzcan las emisiones de (GEI) puesto que son los responsables de los altos niveles presentes.

El objetivo de este protocolo es reducir las emisiones de (GEI) en 36 países industrializados y la Unión Europea en un 5 % en comparación con los niveles de 1990. Durante el primer período de compromiso, 37 países industrializados y la Comunidad Europea se comprometieron a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Durante el segundo período de compromiso, las partes se comprometieron a reducir las emisiones de (GEI) al menos un 18 % con respecto a los niveles de 1990 en el período de ocho años comprendido entre 2013 y 2020. (Naciones Unidas, 2020)

Lo relevante del protocolo es que tiene por objeto ayudar a los países en desarrollo a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. Facilita el desarrollo y el despliegue de tecnologías que pueden ayudar a aumentar la resistencia a los impactos del cambio climático.

1.5.3 El Acuerdo de París sobre cambio climático

Este acuerdo pretende abordar el cambio climático y sus efectos negativos, 197 países adoptaron el Acuerdo de París en la COP21, en París, el 12 de diciembre de 2015. Tiene por objeto reducir de forma sustancial las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2 °C al tiempo que busca medios de limitar la subida a 1,5 °C. (Naciones Unidas, 2022).

El Acuerdo incluye los compromisos de 191 países más la Unión Europea de reducir sus emisiones y colaborar para adaptarse a los efectos del cambio climático, así como llamamientos a los Estados para que fortalezcan sus compromisos a lo largo del tiempo. Tiene por objeto

ayudar a los países a adaptarse a los efectos adversos del cambio climático. Facilita el desarrollo y el despliegue de tecnologías que pueden ayudar a aumentar la resistencia a los impactos del cambio climático, ofrece una vía para que las naciones desarrolladas ayuden a las naciones en desarrollo en su labor de mitigación del cambio climático y adaptación a este, al tiempo que crean un marco para el seguimiento y la presentación de informes transparentes.

El Acuerdo de París pone las bases de construcción de un mundo con bajas emisiones de carbono. La aplicación del Acuerdo es fundamental para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible, ya que ofrece una brújula que orienta el camino a un mundo con porcentajes de GEI normales para el buen funcionamiento del planeta, que permita la presencia de un clima adecuado para la vida en todas sus manifestaciones.

1.6 Objetivos de desarrollo sostenible

La globalización, las limitaciones sociales, la degradación ambiental y otras causas limitan la búsqueda de una comunidad mundial en igualdad de condiciones, de este modo la inequidad es visible, la falta de tecnologías y una escuálida educación marcan el gran abismo entre las sociedades de los países desarrollados y los que están en proceso. El modelo clásico de producción es ineficiente en esta sociedad, por lo que la búsqueda de mecanismos sostenibles e inclusivos que beneficien a todos es prioritaria.

Con base a lo expuesto 193 Estados Miembros de las Naciones Unidas entablaron un proceso de negociación participativo, equitativo, justo y democrático al que se lo conoce con el nombre de Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, presentan una oportunidad para América Latina y el Caribe, consta de 17 objetivos y 169 metas de desarrollo sostenible en el ámbito económico, social y ambiental.

La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático. (Naciones Unidas, 2018).

A continuación, se cita los Objetivo de desarrollo sostenible que se relacionan directamente con la temática desarrollada:

ODS 7 Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

ODS 13 Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

ODS 14 Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.

ODS 15 Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021).

1.7 Información y definiciones de Captura del Dióxido de Carbono

Las actividades humanas están aumentando la concentración atmosférica de (CO₂) y de esta manera contribuyen al calentamiento global desestabilizando el clima del planeta. Las emisiones se producen cuando se quema combustibles fósiles, ya sea en grandes centrales eléctricas, en motores de automóviles, o en sistemas de calefacción. También pueden producirse en procesos industriales como la elaboración de cemento, metales, limpieza de tejidos y otros. Para comprender en que consiste la captura, a continuación, se presentan algunas definiciones importantes que se deben tener en cuenta.

1.7.1 Captura

La Real Academia de la Lengua define a este término como aprehender a alguien o algo. Si es aplicado al (CO₂), entonces sería atrapar él (CO₂) en su fuente, separándolo de los otros gases que se generan en los procesos industriales. Esta técnica se considera un mecanismo de reducción del gas atmosférico, que se la puede utilizar en las propias fuentes como grandes industrias o directamente del aire mediante plantas de procesamiento especial que utiliza circuitos de recirculación y unos filtros especiales que capturan él (CO₂) y lo convierten en materia prima para la industria. (Campillo, 2019)

1.7.2 Las industrias que más CO₂ emiten

a) La industria siderúrgica. Es una rama de la metalurgia, que se encarga única y específicamente de la extracción y la transformación del hierro en sus aleaciones, siendo de mayor relevancia la elaboración del acero. Es el mayor sector industrial emisor de (CO₂), representa el 31% de las emisiones industriales a nivel global. La mayoría de las emisiones

de la industria siderúrgica proceden de los 180 grandes siderúrgicas integradas, con emisiones medias de 3,5 millones de toneladas anuales. (Saldívar, Cabrera, & Reta, 2017)

b) Refinerías de petróleo. Son plantas industriales petroquímicas, en la cual se obtienen sustancias derivadas del petróleo crudo, removiendo las impurezas a través de procesos de transformación y refinación de productos como gasolina, diésel, asfalto, queroseno, gas licuado, aceites, combustibles, etileno y propileno. La industria de refinación de petróleo es responsable del 10% de las emisiones industriales de (CO_2), también emite otros gases contaminantes como dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de carbono, metano, fluoruro de hidrógeno, dioxinas y cloro. (Saldívar, Cabrera, & Reta, 2017)

1.7.3 Tecnologías de captura

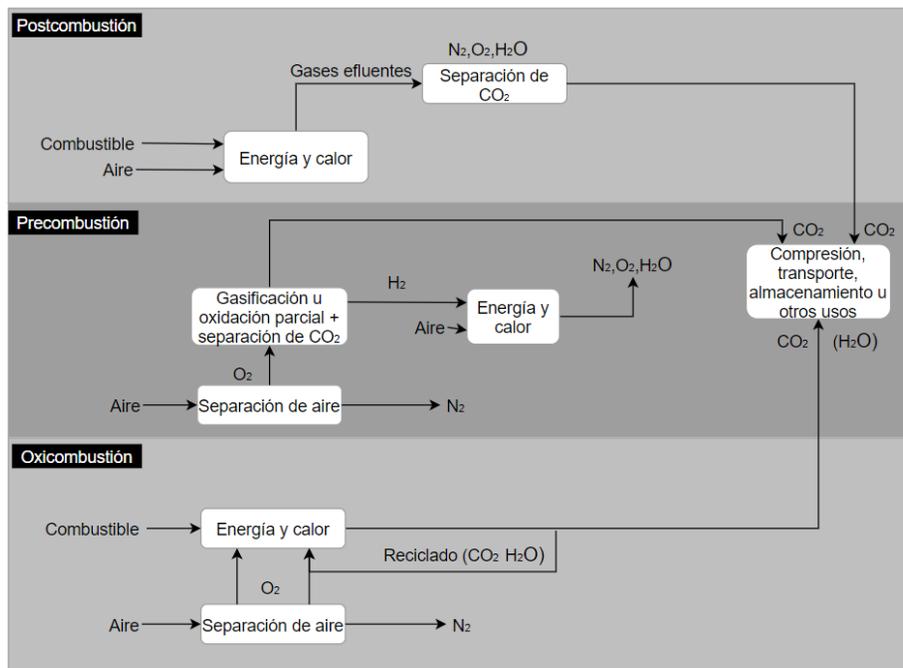


Figura 4. Tecnologías de captura del CO_2 .

Fuente: <https://www.pteco2.es/es/tecnologias/captura>, Modificado por el autor.

Como se puede observar en la Figura 4 muestra de manera general el proceso de las tecnologías de captura de CO_2 , precombustión, postcombustión y oxidación

Se puede clasificar a la captura dependiendo del proceso a realizar para el efecto o el momento donde se realice la actividad de separación, de este modo según (Barrero, 2021) se tiene:

a) Pre-combustión

En este procedimiento el combustible se transforma en una mezcla gaseosa de Hidrógeno y (CO_2), lo que se conoce con el nombre de gas de síntesis. Posteriormente, los dos gases se separan y se puede utilizar como combustible al hidrogeno y al Dióxido de carbono como precursor de otros productos o en su defecto solo almacenarlo. La separación se consigue mediante la utilización de membranas, técnicas de absorción y de adsorción.

b) Postcombustión

En este caso la combustión se lleva a cabo y él (CO_2) se recupera de los gases producto de la combustión mediante un disolvente químico. Este tipo de captura se acopla con mayor facilidad en las industrias, ya que la mayoría de las tecnologías convencionales para las centrales térmicas, cementeras, refinerías y elaboradores de cerámicas.

c) Oxicombustión

Consiste en la combustión del combustible en presencia de oxígeno puro en lugar de aire, lo que incrementa la concentración de (CO_2) en el gas efluente, facilita su separación final antes del almacenamiento. Este mecanismo limita su aplicación por la inversión para producir el oxígeno puro y el desarrollo de equipos adaptados a la combustión con oxígeno puro en grandes instalaciones.

La tecnología de Captura y Aplicación del Carbono (CAC) tiene como meta eliminar el 90 % de las emisiones de (CO_2), los gobiernos de los países industrializados invierten cuantiosas sumas de dinero en la implementación de estas tecnologías para cumplir con los objetivos planteados en los encuentros internacional y por qué no decirlo llegar al 0 % de emisiones de este gas.

TABLA 1.5 Técnicas de Captura y Almacenamiento de CO₂

Post-Combustión			Oxicombustión			Precombustión		
			Separación de oxígeno			Separación de oxígeno		
Preparación del combustible. Secado del lignito.			Preparación del combustible. Secado del lignito.			Manejo del combustible(Lignito/biomasa)		
Combustión (Lecho fluidificado, carbón pulverizado, lignito, coque de petróleo)			Oxicombustión parcial o total			Gasificación y reformado (Gas natural, carbón lignito y biomasa)		
Caldera	Turbina de gas	Combustión industrial	Caldera	Turbina de gas	Combustión industrial	Eliminación del polvo		
Ciclo de gases			Ciclo de gases			Intercambio de CO		
700°C			700°C					
			Enriquecimiento en CO ₂ de los gases efluentes			Recirculación de gases y mezcla con O ₂		
Tratamiento de los gases efluentes con recuperación de calor			Tratamiento y enfriado de los gases efluentes			Captura de CO ₂ / Separación de H ₂		
Captura CO ₂						Turbina de gas H ₂		
Purificación del CO ₂			Purificación del CO ₂			Purificación de CO ₂		
Compresión del CO ₂			Compresión del CO ₂			Compresión del CO ₂		

Fuente: <https://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/l-2/1-secuestro-carbono.htm>

En la Tabla 1.5, a manera de síntesis, se expone los diferentes mecanismos de las “Técnicas de Captura y Aplicación del Carbono” (Post combustión, Oxicombustión y Precombustión) y las fases con sus respectivas características.

1.8 Información y definiciones de Conversión y utilización del Dióxido de Carbono

1.8.1 Conversión del Dióxido de Carbono

La palabra conversión procede del latín conversión que significa cambiar o dar la vuelta, una conversión implica que el sujeto u objeto converso deja de ser quien es, en su totalidad o en parte de su esencia, para convertirse en otro. Aplicada la definición al (CO₂) se determina que es el mecanismo de reacción mediante el cual el Dióxido de carbono se combina con otro compuesto para obtener un producto con propiedades diferentes.

1.8.2 Tecnologías de captura y utilización del Dióxido de carbono

A pesar de que los beneficios de captura, conversión y utilización del (CO_2) es una alternativa estratégica muy atractiva para reducir las necesidades de materias primas y combustibles fósiles esto porque se reutiliza una y otra vez los átomos de carbono presentes en el gas, de este modo, se considera un avance tecnológico en el área de la química y la petroquímica.

La cadena de valor de la CUC

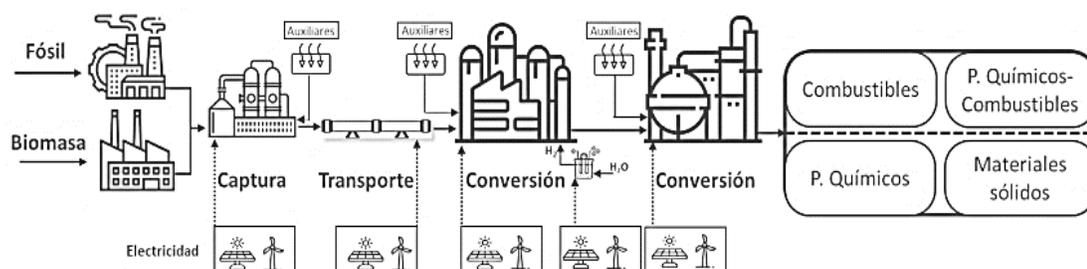


Figura 5. Captura y utilización del CO_2 (CUC).
Fuente: <https://www.aop.es/blog/2020/11/11/captura-uso-co2-analisis-estrategicotecnicoeconomico/>

Como se puede observar en la Figura 6, se ve el proceso que de la cadena de valor de la captura y utilización de CO_2 , el cual comienza con la captura de dióxido de carbono ya sea de origen fósil o biomasa, posterior a esto es transportado hasta llegar a la primera etapa de conversión, a continuación, pasa a la segunda etapa de conversión, dando como resultado: combustibles, químicos combustibles, productos químicos, y materiales sólidos.

1.9 Utilización del CO₂ en diferentes campos industriales

En la imagen siguiente se muestra las diferentes aplicaciones del (CO₂) en la industria.

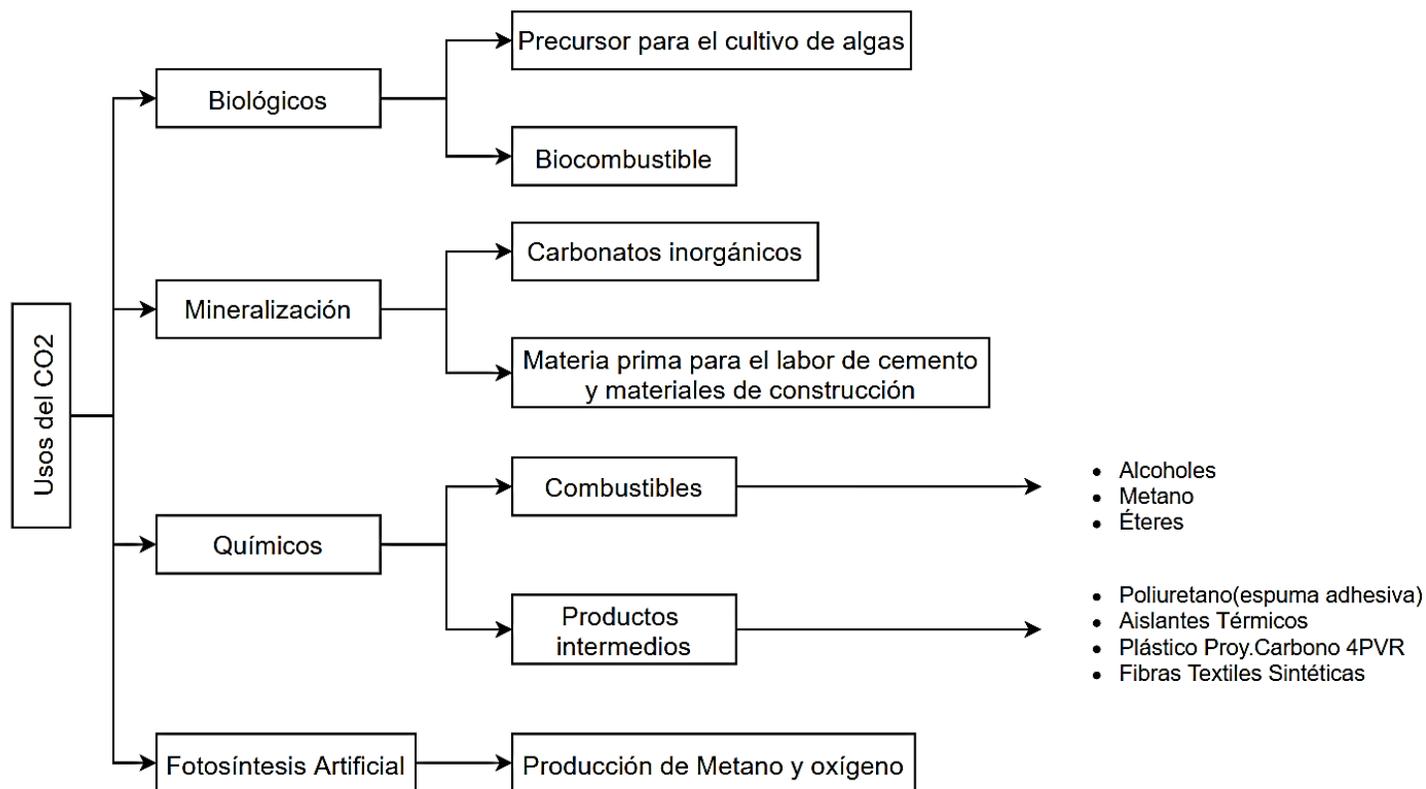


Figura 6. Usos del CO₂ en la industria.
Fuente: Adaptado de AOP. (2020). Captura y uso del CO₂: un análisis estratégico, técnico y económico.
Recuperado de <https://www.aop.es/blog/2020/11/11/captura-uso-co2-analisis-estrategico-tecnico-economico/>

En la Figura 7, se presenta una matriz donde se sintetiza sus usos, como materia prima en la elaboración de más de 40 productos diferentes y 70 rutas de obtención diferentes. (AOP, 2020).

Capítulo II

Estado del arte de la captura, potencial de conversión y utilización de CO₂

El presente capítulo contiene, el estado del arte acerca de los métodos, procesos y tecnologías para la captura, conversión y utilización de CO₂, así como también, el desarrollo y aplicación de estos en diferentes países.

2.1 Metodología de la investigación

En sumamente difícil investigar el estado de arte sobre Tecnologías de captura, conversión y utilización de CO₂. desafíos y oportunidades futuras, a través de los años, esto porque llevaría muchísimo tiempo, además, el documento escrito estaría constituido de un centenar de páginas. Por tal motivo, se analiza publicaciones e informes emitidos por Organizaciones Mundiales encargadas del cuidado del planeta como (la ONU, la OMM, Experto sobre cambio climático, OMS, La Unión Europea, entre otras.) en un periodo determinado de cinco años antes de la redacción de este trabajo, es decir: documentos publicados desde el año 2017. Es necesario aclarar que se toma como referencia algunos datos anteriores que son considerados esenciales en la repercusión actual. Se procesa alrededor de 22 documentos que engloban estudios realizados por corporaciones, publicaciones de revistas, informes de los que se analiza con detenimiento los datos estadísticos sobre emanaciones de CO₂ de forma anual o en algún periodo de tiempo. Se menciona que el estado de arte no es un inventario de textos, sino un mecanismo de creación de un enfoque contextualizado en el que se pueda exponer lo relevante del tema. De este modo se realiza la filtración bibliográfica, solo tomando en consideración publicaciones e investigaciones actuales. Sin desmerecer algunos trabajos clásicos dignos de ser citados y estudiados.

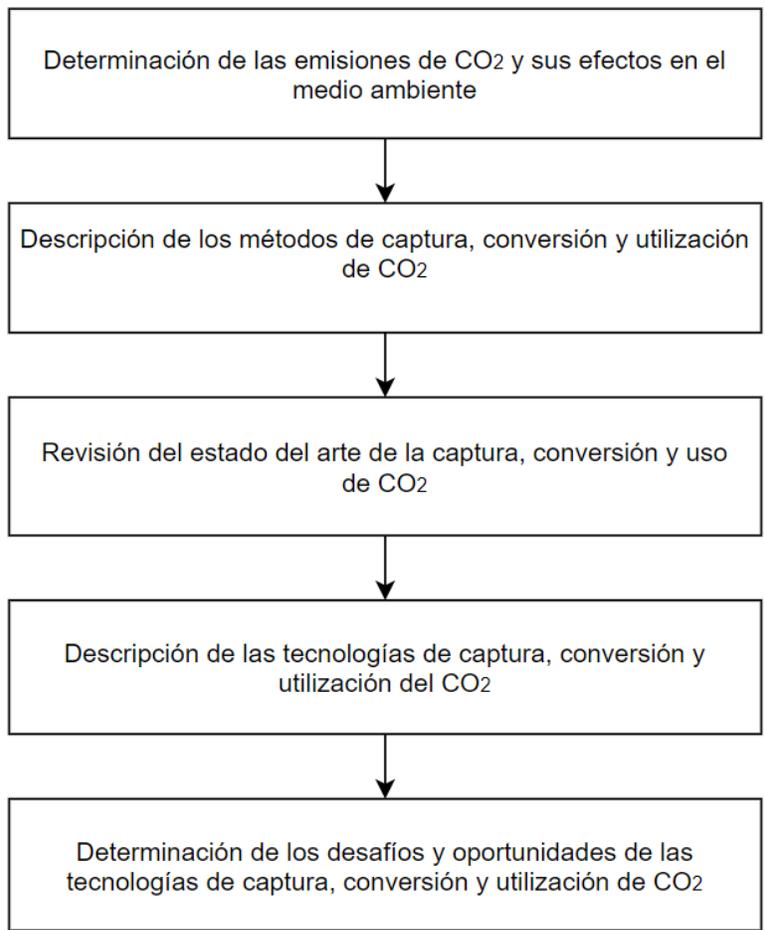


Figura 7. Diagrama de bloques de la metodología aplicada
Fuente: (Autor, 2022)

2.2 Investigaciones y estudios realizados sobre captura y conversión del Dióxido de Carbono

La captura del Dióxido de Carbono se comprende como el despliegue de tecnologías dirigidas para atraparle del aire y volverlo a encerrar en la molécula inicial, de forma similar a cómo estaba antes de que se quemase, es decir en forma de combustible fósil.

La forma tradicional de capturar el Dióxido de Carbono atmosférico es la actividad de forestar y reforestar, puesto que es el mecanismo natural que utiliza la tierra para enterrarlo, lamentablemente existe estudios recientes señalan que la acción de sembrar árboles no es suficiente para reducir su presencia y que en la mayoría de los casos esta actividad altera la biodiversidad, por la introducción de especies de plantas foráneas. Para una óptima reducción se

debe realizar la actividad evitando la deforestación, un estudio sobre bosques de espinal realizado por un grupo de investigadores liderado por Sione, (2020) en un escenario de deforestación cero a partir del año 2020 se lograría una reducción de emisiones del orden de 17.7 Tg CO₂ para el 2030, que representa un 3.7% de la meta nacional propuesta por Argentina de no superar, al año 2030, la emisión neta de 483 Tg CO₂.

En la actualidad existen diferentes métodos para la captura del gas efecto invernadero, en problema no se constituye en el desconocimiento de metodologías de captura, el problema radica en el costo para llevarlo en ejecución. En un mundo globalizado de carácter capitalista siempre se pone en primer lugar el factor económico mediante una ecuación simple, inversión-ganancia, por esta razón no se ha implementado, sin pensar que en poco tiempo ya no existiría empresas para invertir esto por el cambio climático.

El cambio climático ocasionado por los gases efecto invernadero ha llevado a la búsqueda de soluciones asertivas en los diferentes congresos internacionales, motivando y exigiendo, en la mayoría de los casos la reducción de estos gases, a países desarrollados causantes de las grandes emisiones. La captura y almacenamiento de CO₂ sería una opción para estos países, por ser dueños de toneladas de materia prima, como también poseen tecnologías adecuadas para su tratamiento. Sin embargo, esto solo contribuiría en un porcentaje muy reducido, puesto que para que las emisiones de gases efecto invernadero se reduzcan frenando el calentamiento global, todas las naciones deberían disponer de tecnologías de captura y procesamiento de CO₂, de este modo, sería imprescindible la difusión en países en vías de desarrollo, para que el esfuerzo sea mundial.

Las tecnologías utilizadas en plantas termoeléctricas que funcionan con combustibles fósiles para la captura del CO₂ son: precombustión, oxcombustión y postcombustión. Cada una de ellas tienen sus características y momentos propios de utilización, como también costos de aplicación, de esta manera, la captura de postcombustión, el CO₂ es separado de otros gases de combustión, presentes en el aire o producidos por la combustión; en la captura de precombustión, el gas se elimina del combustible antes de la combustión, y en la oxcombustión el nitrógeno es removido del aire quedando oxígeno de alta pureza (95%) que es usado como comburente en la combustión de gases, haciendo más fácil la captura posterior. (Saldívar, Santiago, et al, 2017)

2.2.1 Captura de CO₂ en Pre-combustión

La pre-combustión consiste en eliminar el CO₂ después de convertir un combustible en una mezcla de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂) conocido con el nombre de gas de

síntesis, reacciona mediante vapor añadido H₂. El sintegas, se procesa a través de una reacción de desplazamiento, la cual produce hidrógeno y Dióxido de Carbono, el mismo que se captura mientras que el hidrógeno se puede quemar para producir energía eléctrica o calórica sin emisión de CO₂. Citado por (Saldívar, Santiago, et al, 2017).

Este proceso lo aplican para capturar el CO₂ y para obtener Hidrogeno, el que es utilizado en la producción de energía eléctrica mediante turbinas a gas, amoniaco, fertilizantes y refinación del petróleo.

TABLA 2.6 Etapas del proceso de pre-combustión.

Nº	Etapa	Descripción del proceso	Ecuación química
1	Producción de gas de síntesis	Es un proceso de análisis de combustible primario.	
		Con presencia de agua, reacción exotérmica	$CxHx + xH_2O = x NO + H_2 + \Delta H + E$
		Con presencia de oxígeno.	$CxHx + xO_2 = CO + H_2 + \Delta H - E$
2	Reacción shift de gas - agua	Convertir el CO en CO ₂ con el respectivo aporte de H ₂ .	$CO + H_2O = CO_2 + H_2 + \Delta H - 41 \text{ kJ mol}^{-1}$
3	Separación del CO ₂	Absorción química usando aminas o carbonatos.	
		Absolvedor Swing de presión, son filtros de absorción de los diferentes gases formados por zeolitas, carbón activo o alúminas.	

Nota: Adaptado de Conama. (2020). Captura de CO₂: tecnologías para cumplir el Acuerdo de Paris. Madrid. http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/GTs%202010/2_final.pdf

En la Tabla 2.6 se describe proceso de captura, se lo desarrolla en tres momentos o etapas, la primera es la producción de gas síntesis, la segunda proceso shift y la tercera es la separación del CO₂.

Un ejemplo de esta tecnología de pre-combustión catalogada como clásica por su carácter de ser piloto es la del Proyecto de Captura de Carbono de Boundary Dam, una Central Eléctrica cerca de Estevan, Saskatchewan, convirtió a la Unidad de las ya existentes en un productor confiable de energía de carga base de 120 MW, utilizando la denominada Captura de Carbono, esto evito que más de 4 millones de toneladas de CO₂ ingresaran a la atmósfera, esta cifra equivale a sacar 1 millón de vehículos de la carretera durante un año.

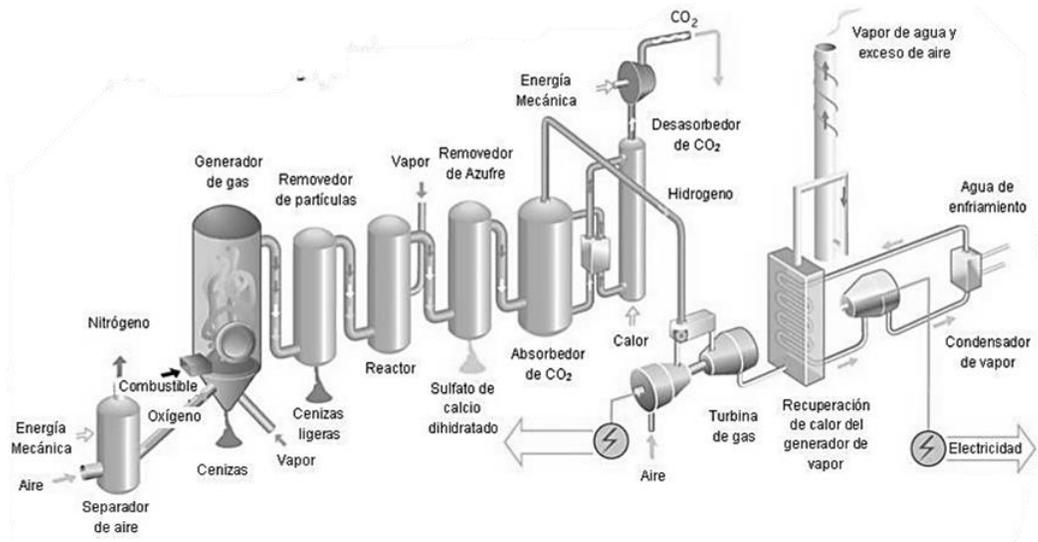


Figura 8. Planta con diseño de captura Pre-combustión.

Fuente: <https://hрудnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2captu/Informe%20captura%20y%20secuestro%20de%20CO2.pdf>

En la Figura 9 se puede observar una planta de captura Pre-combustión de CO₂, para la producción de hidrógeno por reformado con vapor. El gas de generado está compuesto por metano y otros hidrocarburos ligeros, tras una primera compresión, y una etapa de precalentamiento con el gas de salida del generador de gas, luego mediante la reacción del monóxido de carbono con el vapor de agua sobresaturado en 2,5 a 3 producen hidrógeno adicional y dióxido de carbono, lo que facilita su separación.



Figura 9. Estación de energía de la presa de frontera.

Fuente: <https://www.norvento.com/blog/megaplantas-captura-co2/>

En la Figura 10 se puede observar el diseño antes mencionado de una planta de precombustion, instalado en una planta real de energía.

2.2.2 La Oxi - combustión del Dióxido de Carbono

Se denomina de esta manera al proceso de captura de (CO_2) que actúa sobre el comburente (aire) remplazándolo por oxígeno concentrado para la combustión, esto hace que el Nitrógeno no entre en el proceso obteniendo un gas de combustión con altas concentraciones de Dióxido de Carbono y agua que luego son separados por condensación un método físico poco costoso, obteniendo así CO_2 puro, el limitante de este proceso es separar al oxígeno del aire para ser aprovechado. (Moreno, 2019)

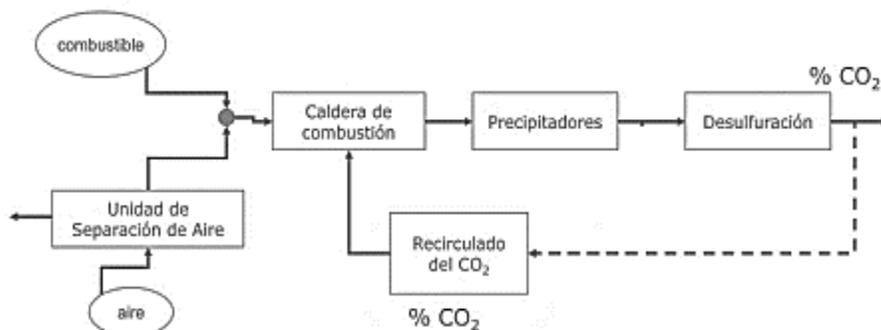


Figura 10. Mecanismo de captura por oxicomustión.

Fuente: <https://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno08/co2capture/Informe%20captura%20y%20secuestro%20de%20CO2.pdf>

En la Figura 11 se muestra la captura de CO_2 mediante la oxicomustión, el proceso consiste en la quema combustible mediante la utilización de oxígeno puro, previo a esto se debe separa

el O₂ del aire, dicho proceso da lugar en una caldera en la cual para evitar altas temperaturas se tiene un sistema de recirculación de CO₂.

Hasta el momento no se tiene registro de instalaciones industriales operando con esta tecnología de oxidación, los trabajos realizados en este ámbito se encuentran en fases de investigación y desarrollo que crece a pasos agigantados, esto porque se considera una tecnología de emisión cero que puede ser utilizada en instalaciones nuevas o ser adaptada a otras que ya existe.

2.2.3 La post combustión en la captura del CO₂

Esta tecnología se realiza después de la combustión, es utilizada en grandes focos contaminantes como industrias metalúrgicas, plantas eléctricas y fábricas de cemento donde las concentraciones de dióxido de carbono esta próxima a alcanzar el 100 % en el gas corriente.

En este tipo de captura el combustible y aire es quemado, es decir, pasa por el proceso de combustión, los gases obtenidos de esta combustión pasan a otra etapa la cual consiste en dos columnas: una de absorción y la otra de regeneración. En la columna de absorción el CO₂ es absorbido mediante productos químicos, posteriormente pasa a la columna de regeneración donde se separa el CO₂ de la solución. Los gases que salen de este proceso son quemados y el CO₂ capturado es comprimido para su almacenamiento.

2.3 Proceso de absorción en la captura del CO₂

Según (Boyang, et al., 2017), la absorción química con aminas y el ciclo de calcinación-carbonatación, son los procesos tecnológicos con mayor desarrollo y viabilidad. En este proceso el soluto reacciona con un componente presente en el solvente, y la relación entre la masa del gas disuelto y la presión parcial del soluto, el cual está determinado por su equilibrio químico. Los absorbentes más empleados son las alcanolaminas en solución acuosa,

Los productos químicos utilizados son las aminas, ya sean primarias, secundarias o terciarias como (Monoetanolamina MEA, Diglicolamina DGA, Dietanolamina DEA, Diisopropanolamina, Metildietanolamina MDEA y Trietanolamina) compuestos químicos básicos como carbonato de potasio (K₂ CO₃). (Ramírez, Jhonatan & García, Dennis, 2018)

TABLA 2.6 Solventes químicos para remoción de CO₂

Solvente	Proyecto	% solvente	Remoción % C	Procesamiento [t CO ₂ /día]
MEA	CASTOR CSIRO	30	90	4
DEA	Elcogas Puertollano	35	90	100
AMONIACO	Delta Electricity	6	99	6276

Nota: adaptado de (Mamani,G., 2020) Revisión de tecnologías actuales para la producción de dimetil éter a partir de dióxido de carbono y gas natural https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/233/1/Mamani%20Paco_TI.pdf

En la Tabla 2.7, se presenta la aplicación de los solventes químicos (Aminas) usados para la remoción de CO₂, el proyecto en el que se aplica cada uno de estos compuestos, también se indica el porcentaje de solvencia y remoción de cada uno, además del procesamiento medido en [t CO₂/día].

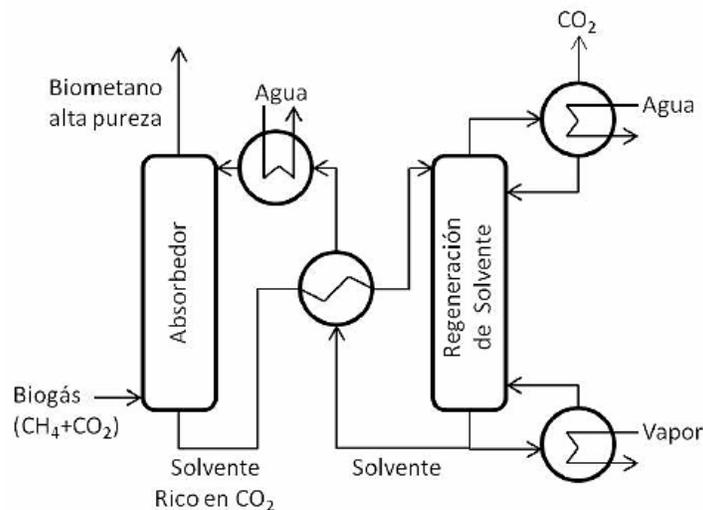


Figura 11. Absorción de CO₂ con aminas.
Fuente http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-4065201400010001

En la Figura 12 se muestra el diagrama general del proceso de absorción química, la que utiliza aminas para la captura del CO₂. El proceso inicia en la torre uno (absorbedor) donde ingresa el gas con alto contenido de CO₂ (Biogás) y además ingresa la amina, de manera que el CO₂ puede ser absorbido y se obtiene el gas purificado (Biometano alta pureza). Por otra parte, se obtiene un solvente rico en CO₂ y antes de ser enviado a la torre dos (Regeneración de Solvente)

es calentada hasta llegar a cierta temperatura, posterior a esto se puede obtener el CO₂ listo para ser almacenado.

El proceso de absorción Física para captura del Dióxido de Carbono se basa fundamente en la utilización de materiales que retienen el CO₂, por lo general utiliza la temperatura como catalizador, de esta manera se acelera la reacción y se facilita su captura. Los materiales más comunes son carbón activo y zeolitas.

A manera de conclusión, dentro del proceso de absorción para captura del CO₂ se puede apreciar que por sus gastos de energía el de mayor conveniencia es el de absorción física, puesto que el proceso químico utiliza un 30 % de la energía que produce la planta generadora de energía.

TABLA 2.7 Ventajas y desventajas de los mecanismos de absorción física o química.

Tipo de absorción	Ventajas	Desventajas
Física	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Baja toxicidad. ✓ Baja corrosión. ✓ Bajo consumo de energía. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Elevado costo en mantenimiento, salarios, tarifas administrativas y licencias.
Química	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tecnología desarrollada, implementada a gran escala. ✓ Adecuado para retro-adaptación. ✓ Aplicable a la separación de CO₂ bajas concentraciones. ✓ Tasas de recuperación de hasta 95%. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Requerimiento de energía elevado. ✓ Pérdida de solvente. ✓ Degradación y corrosión del equipo. ✓ Impacto ambiental debido a la emisión de solventes. ✓ Gran volumen de absorbente.

Nota: adaptado de (Saldívar, Cabrera, & Reta, 2017). Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias, 23.

En la Tabla 2.8, se describe algunas ventajas y desventajas de los mecanismos de absorción física y química.

2.4 Tecnologías de adsorción en la captura de (CO₂)

Se basa en la adsorción por tamices moleculares de determinadas sustancias, gracias a lo cual se asegura la separación de la mezcla de aire, permite obtener del aire eficazmente gases tales como el nitrógeno, el oxígeno, Dióxido de Carbono, los óxidos de azufre, y el agua. (Rubio, J, 2019)

Del mismo modo que la absorción, la adsorción se la puede presentar en dos mecanismos, el primero de carácter químico y el segundo físico. Es necesario mencionar también que comparado con el proceso de absorción existe una diferencia procesual muy notable como también en su rendimiento, las tecnologías de adsorción, actualmente, capturan alrededor del 59% de (CO₂); mientras que la absorción alcanza valores de 91.6-93.4%.

TABLA 2.8 Ventajas y desventajas en la adsorción del CO₂

Tipo de adsorción	Ventajas	Desventajas
Física	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La recuperación del CO₂ requieren de menos energía. ✓ Se captura CO₂ y H₂S combinado. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Dificultad para tratar sólidos. ✓ Adsorción baja. ✓ Baja selectividad hacia CO₂. ✓ Inestabilidad térmica, química y mecánica
Química	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Adsorción alta ✓ Bajo costo del lecho filtrante. ✓ Reacciones con desprendimiento de calor 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Difusión baja. ✓ Selectividad al CO₂ baja ✓ Recirculación baja disminuye la adsorción.

En la Tabla 2.9 se muestra las ventajas de la utilización de la adsorción química y física del CO₂ al igual que sus desventajas.

2.5 Tecnologías de utilización de CO₂

En la Conferencia del Clima de París (COP21) de 2015, la comunidad científica recomendó reducir las emisiones a valores comparables a los de 1990. La COP26, celebrada en Glasgow en 2021, culminó con un Pacto Climático firmado por 197 países, donde se menciona la necesidad de fijar objetivos de reducción de emisiones ambiciosos que permitan evitar un aumento de la temperatura superior a 1,5 °C para 2030. Con este antecedente, los países buscan tecnologías de captura y almacenamiento como también captura y utilización del CO₂.

La Captura y utilización del dióxido de Carbono (CCU) por sus siglas en inglés (capture and utilization of carbon dioxide) se diferencia de la Captura y almacenamiento de carbono (CCS), puesto que además de capturar pretende utilizarlo para la fabricación de nuevos productos que benefician a diferentes tipos de industrias. Su aplicación supone una innovación tecnológica biológica o química que puede reemplazar los procesos tradicionales e incentivar el uso de estos procesos para minimizar el calentamiento global.

En la siguiente matriz se expone algunas de las aplicaciones que puede darse al Dióxido de Carbono en diferentes industrias, tomando como referencia el premio de innovación y tecnología de la sociedad Española de Física del 2015 otorgado a la Científica Lourdes Vega, Hasta 2020 donde se presenta diversos estudios de utilización del CO₂, Volker Sick es profesor de ingeniería mecánica en la Universidad de Michigan (Estados Unidos) y dirige la Global CO₂ Initiative, un proyecto de la misma universidad para impulsar el desarrollo de tecnologías CCUS que puedan capturar y convertir el dióxido de carbono en productos útiles. (Volker S, et al., 2019)

Implementar la idea de reutilizar a gran escala el CO₂ producido implica un desarrollo tecnológico significativo, ya que hay que transformar las moléculas de CO₂ en moléculas de carbono, un proceso que requiere un aporte energético que debe provenir de fuentes de energía de carbono cero, para evitar agregar más emisiones de CO₂, por esta razón este equipo de investigadores trabaja en varios proyectos de tecnología energética Captura y Utilización De CO₂

(CCUS) a gran escala con una capacidad de captura combinada de 2,4 megatoneladas de CO₂ por año.

TABLA 2.9 Productos que se puede obtener con técnicas de Captura y Utilización de CO₂.

Materia prima	Usos y Aplicaciones	Productos obtenidos	
Dióxido de Carbono CO ₂	Solvente	Hidroformilación	
		Hidrogenación	
		Biocatálisis	
		Síntesis de polímeros	
	Construcción	Hormigón Flexible	
		Hormigón Autoreparador	
	Combustibles	Metanol biocombustible	
		Gas Hidrato de CO ₂	
	Fibras	Fibras vegetales	
		Fibra de carbono	
	Productos químicos		Carbonato de dimetilo, Carbonato de difenilo, usados como solventes apolares, aditivos y pilas de litio.
			Carbonato de Calcio, Carbonato de Magnesio, utilizados en farmacéutica
			Ácido Acetil salicílico, Aspirina
			Anestésicos
			Acido fórmico, ácido carboxílico y policarbonato
	Disoluciones		Cerveza
			Extintores
	Industria Alimenticia		Conservar la leche
Preserva Vegetales			
Depurantes de alimentos			

Nota: adaptado de BBVA. (2020). Tecnologías CCUS: frenar el calentamiento global reciclando CO₂.
<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/la-promesa-de-las-tecnologias-ccus-frenar-el-calentamiento-global-reciclando-co2/>

En la Tabla 2.10 se sintetiza algunos usos y aplicaciones, así como también los diferentes subproductos que se pueden obtener a partir de la materia prima utilizada, es decir Dióxido de carbono CO₂.

2.6 Evaluación de costes a los sistemas de captura de Dióxido de Carbono

La captura del CO₂ es un proceso que conlleva a un aumento de los costes que la industria está destinando para la producción de subproductos propios, de esta manera es necesario conocer un aproximado de inversión como también los rendimientos y beneficios que obtendrá a parte de las exigencias de las autoridades por reducir los gases efecto invernadero. Por esta razón se presenta los resultados del informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sobre este tema en el que se compara los costes de las diferentes tecnologías de captura de Dióxido de Carbono.

TABLA 2.10 Costes de tecnología de Pre-combustión.

	Planta de referencia	
	Carbón (556 MW)	Ciclo Combinado GN(420 MW)
RENDIMIENTO		
Sin captura	46 %	58 %
Captura precombustión	36 %	48 %
COSTE DE LA ELECTRICIDAD (€/MWh)		
Sin captura	39,1	50,5
Captura precombustión	57,9	66,7
COSTE DEL CO₂ (€/tCO₂)		
Coste del CO ₂ capturado	21,1	41,7
Coste del CO ₂ evitado	27,6	51,2

Fuente: <http://www.fundacionenergia.es/pdfs/Carb%C3%B3n%20Futuro/Cap%C3%ADtulo%206.1.pdf>

En la Tabla 2.11 se distingue, el rendimiento, el coste de la electricidad y el coste de CO₂ de acuerdo con el rendimiento la planta de referencia ya sea Carbón o Ciclo combinado de gas natural, para determinar los costes de la tecnología de pre-combustión.

TABLA 2.11 Costes de tecnología post combustión

	Planta de referencia	
	Carbón (556 MW)	Ciclo Combinado con gas Natural (420 MW)
RENDIMIENTO		
Sin captura	46,0 %	58,0 %
Con oxifuel	36,0 %	48,0 %
COSTE DE LA ELECTRICIDAD (€/MWh)		
Sin captura	39,1	50,5
Con oxifuel	54,6	69,3
COSTE DEL CO₂ (€/tCO₂)		
CO ₂ capturado	17,6	44,7
CO ₂ evitado	23,2	54,4

Fuente: <http://www.fundacionenergia.es/pdfs/Carb%C3%B3n%20Futuro/Cap%C3%ADtulo%206.1.pdf>

En la Tabla 2.12 se distingue, el rendimiento, el coste de la electricidad y el coste de CO₂ de acuerdo con el rendimiento la planta de referencia ya sea Carbón o Ciclo combinado de gas natural, para determinar los costes de la tecnología de post combustión.

De esta manera se puede determinar que en los dos procesos más utilizados para captura del CO₂ los costos de energía requerida para su aplicación corresponden hasta un 40 % de la energía total producida en el caso de industrias eléctricas, por lo que representa una fuerte inversión para estos mecanismos. Por otro lado, las Tecnologías de CAC son más aconsejables con relación a las tecnologías de CUC, esto porque las CAC acumularían el CO₂ en disoluciones en yacimientos petroleros ya explotados y allí quedaría, en cambio las CUC necesitarían de mayor energía para producir los productos elaborados y esto ocasionaría mayor producción de CO₂ como consecuencia final.

2.7 Países con las emisiones más altas de Dióxido de Carbono a nivel de mundo

Existen diferentes métodos de cálculo aplicables para la clasificación de los países contaminantes, entre ellos persiste aquel que toma como consideración la cantidad de emisiones de CO₂ dividida para el número de habitantes o aquella que considera la huella ecológica, según

William Rees su creador, es un indicador que permite medir este impacto y compararlo con la disponibilidad de recursos naturales renovables. De esta manera, tomando como referencia el primer método de clasificación se tiene que los países más contaminantes son: China, Estados Unidos y la India.

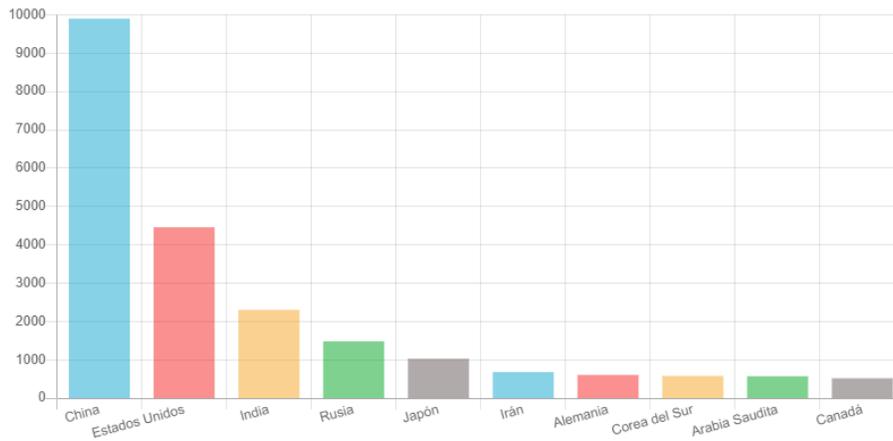


Figura 12. Los diez países con mayores emisiones de CO₂ en el 2020.
Fuente: BP Statistical Review of World Energy 2021

En la Figura 15 se muestra los 10 países con mayores emisiones CO₂, donde China ocupa el primer lugar, con 9,9 mil millones de toneladas de emisiones de CO₂, El segundo lugar lo encuentra ocupado por Los Estados Unidos con 4,4 mil millones de toneladas de emisiones de CO₂, esto se debe a sus industrias y comercio, el tercer lugar es para La India con 2,3 mil millones de toneladas de emisiones de CO₂. Como lo muestra el gráfico.

Si se considera la huella ecológica, que se refiere a la exigencia que ejercen los humanos al planeta para satisfacer sus necesidades, en el cálculo de las naciones con mayor contaminación atmosférica serían:

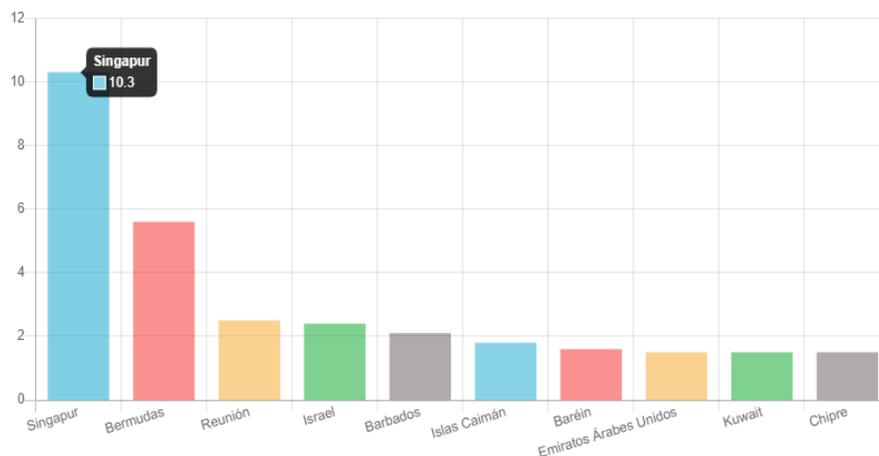


Figura 13. Países con menor capacidad biológica.
Fuente: Global Footprint Network

Como se puede observar en la Figura 16, Singapur, Bermudas, Reunión, Israel, Barbados, Islas Caimán, Baréin, Emiratos Árabes Unidos, Kuwait y Chipre son las naciones con mayor contaminación atmosférica.

Con esta realidad, la cantidad de emisiones de CO₂ al año a la atmósfera alcanza los 412 ppm a mediados del 2021, cifra que se va incrementando al mismo tiempo que contribuye al calentamiento climático de 2 °C.

2.8 Ecuador y su emisión de Dióxido de Carbono

Las emisiones de CO₂ en 2020 han sido de 33,279 megatoneladas, con lo que Ecuador es el país número 116 del ranking de países por emisiones de CO₂, formado por 184 países. En cuanto a la evolución de las emisiones de CO₂ por cada 1.000 dólares de PIB, que mide, para un mismo país, la eficiencia medioambiental con la que se produce a lo largo del tiempo. En el último periodo, Ecuador, ha emitido 0,18 kilos por cada 1.000\$ de Producto Interno Bruto (PIB).

Este descenso de la emisión de CO₂ a la atmósfera se cree se debe a la incorporación de industrias amigables con el ambiente para la producción de energía, como es el parque eólico y otros mecanismos impulsados la anterior década. De esta manera se presentaría como un país con poca tecnología, no obstante, también con emisiones bajas en comparación con los grandes países industrializados.

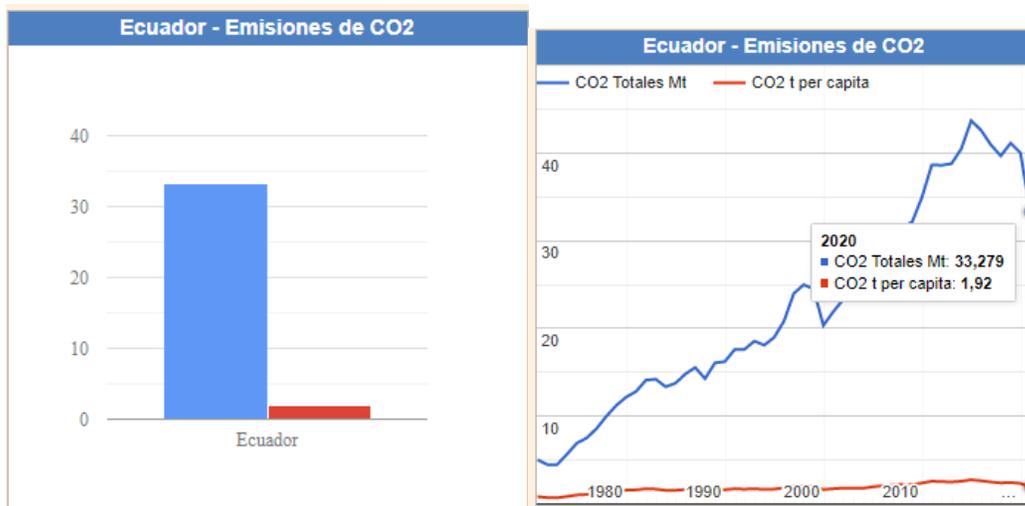


Figura 14. Emisiones de CO₂ de Ecuador 2020.

Fuente: <https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medioambiente/emisiones-co2/ecuador>

En la Figura 17 se muestra, las emisiones totales de CO₂ emitidas durante el año 2020, en dichos años los valores de CO₂ llegaron hasta los 32,79 millones de toneladas de CO₂ Totales y 1,92 toneladas per cápita.

2.9 Países con proyectos de tecnologías Captura y almacenamiento de dióxido de carbono, Captura y utilización del dióxido de carbono y, Captura y secuestro de carbono

En el mundo hay 17 grandes plantas en operación y otras cinco en obras, aun cuando se necesitarán 2.000 para cumplir el Acuerdo de París. Se encuentran distribuidas nueve de ellas en Estados Unidos, tres en Canadá, dos en Noruega y una en Brasil, Arabia Saudí y Emiratos Árabes Unidos. Entre todas están ahorrando a la atmósfera 37 millones de toneladas anuales de CO₂, el equivalente al retiro de ocho millones de automóviles de las carreteras cada año. Algunos proyectos entraran en vigor en 2022 y es menester mencionar la gran cantidad de proyectos desplazados por las naciones desarrolladas que esperan cumplir con emisiones cero, meta establecida para el 2060, para lo que se estima que para lograr esta ambiciosa meta es necesario la existencia de 2000 plantas trabajando en todo el mundo. A partir del 2015 con las exigencias a nivel mundial a países desarrollados para que cumplan con los objetivos de desarrollo sostenible, en especial las reducciones de gases efectos invernadero, se han llevado a cabo muchas investigaciones para poder cumplir con las altas exigencias que tienen como límite el 2030.

2.9.1 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono en Canadá

En primer lugar, se toma como referencia el proyecto Boundary Dam en Canadá, por ser la primera planta de captura de CO₂ que entró en operación en 2014, en una central térmica de carbón de 120 MW y que es capaz de capturar más de 1 Mt al año empleando tecnología de absorción química con aminas. (Global CCS Institute, 2022)

El informe del 06 de abril del 2021 emitido por las Naciones Unidas manifiesta que los acuíferos salinos profundos, los yacimientos de petróleo y gas agotados y las vetas de carbón no explotables son medios adecuados para el almacenamiento de (CO₂). Recientemente, se ha propuesto la posibilidad de almacenar el gas en el basalto. El informe examinó las dos primeras opciones (acuíferos y yacimientos de petróleo) e identificó 17 yacimientos adecuados en la región.

El 09 de julio del 2021 una nueva iniciativa de colaboración frente a la acumulación del (CO₂) atmosférico se celebra entre China y Canadá. El acuerdo consiste en aplicar en marcha el denominado: Proyecto de uso de captura de carbono a prueba con horno de cemento, que ayudará a aplicar el modelo del Knowledge Centre y el Diseño de Ingeniería Front End (FEED) de una plataforma de prueba, que tiene una capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂) de aproximadamente 155 kg de CO₂/por día. El proyecto será desarrollado y puesto a prueba con un sistema de captura de carbono que utiliza gas de combustión posterior de un horno de cemento productor. Es de gran importancia, puesto que tienen la política de emisiones cero para 2060.

En lo que se refiere a tecnologías de captura y utilización de CO₂, Carbón Engineering, una empresa canadiense, cuyo fundador es David Keith, lanza un proyecto de captura del (CO₂) de forma directa del aire, mediante la tecnología de secuestro o ser utilizado para la producción de hidrocarburos neutros, que serán utilizados en maquinaria pesada y movilizar aviones. En lo que se refiere a costos, asegura los científicos que el precio de inversión oscila de 94 a 232 dólares por tonelada. Las instalaciones en Columbia Británica en Canadá ya están produciendo alrededor de 2.000 barriles de combustibles por día, que suman más de 30 millones de galones por año en todas las plantas utilizando el (CO₂) del aire.

Dentro de las tecnologías denominadas (CUC), se puede mencionar aquellas investigaciones que a partir del (CO₂) elaboran productos, tal es el caso de un grupo de investigadores de La Universidad de Toronto, que, en 2018, realizaron prácticas científicas de conversión del (CO₂) en etileno de manera más eficiente, abriendo el camino para reciclar este gas de efecto invernadero

en plástico. Este mecanismo se basa en la reacción de reducción de dióxido de carbono mediante el uso de una corriente eléctrica y un catalizador que puede ser oro, la plata y el zinc, sin embargo, el estudio demuestra que solo el cobre puede producir metano, etanol y etileno el tan ansiado compuesto básico para la formación de polietileno conocido como plástico utilizado por todo el mundo.

Y si de plástico a base de (CO₂) se habla, es conveniente citar los estudios realizados por científicos del Centro para Tecnologías Químicas Sustentables (CSCT) de la Universidad de Bath, que, aunque no está ubicada en Canadá sino en Inglaterra, fortalece lo expuesto en el párrafo anterior. Esta investigación explica la elaboración de plásticos biodegradables a base de (CO₂) y azúcar, los que pretenden remplazar los policarbonatos utilizados en la elaboración de lentes, techos, botellas y utensilios de cocina elaborados a base de bisfenol A, producto altamente toxico, por policarbonatos alternativos de carácter biodegradable y biocompatibles termino aplicado en medicina de implantes. Este nuevo plástico es una alternativa renovable a los polímeros a base de combustibles fósiles, potencialmente barato, ya que es biodegradable, y no contribuirá al crecimiento de los desechos de los océanos.

En Canadá también se encuentran instalaciones industriales que han aprovechado el (CO₂) como materia prima a través de las tecnologías de (CUC) que aunque no han iniciado en el país se han quedado como contribución a las alternativas limpias como se puede mencionar Solutex una empresa dedicada a la distribución de omega 3 con oficinas en Quebec (Canadá), sin embargo que tiene que ver con la captura de (CO₂), la respuesta es simple la industria impulsa la utilización de plantas de energía a base de combustibles fósiles a la aplicación de tecnologías (CUC) y el cultivo de algas que sirven de materia prima para la obtención de Omega 3, un producto utilizado en la industria piscicultura como también en la medicina. Expertos calculan que con una tonelada de CO₂ se podrá producir una tonelada de algas, a partir de las cuales, se podrán obtener entre 300 y 400 kilos de aceite de Omega 3. (Acosta, 2019).

Como un mecanismo de reducción de gases efecto invernadero, el gobierno canadiense puso en conocimiento a través del ministerio de Recursos Naturales que plantará 60 millones de árboles en 2022 y aumentará el ritmo a 300 millones al año en 2027, como parte de un plan para combatir la crisis climática. El programa prevé alcanzar los 2.000 millones de árboles sembrados en 2030, esto implica la reforestación de una superficie equivalente a unos 12.000 kilómetros cuadrados.

2.9.2 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono, y captura y utilización del dióxido de carbono en China

China es uno de los países industrializados que ha realizado una gran cantidad de proyectos en el área de Captura del CO₂, de 203 patentes registradas el año pasado, China produjo 164. Esto significa, China generó el 81 por ciento de todas las nuevas patentes de captura de carbono registradas, lo que la convierte en el mayor productor mundial de nuevas tecnologías de este campo. Además, para el periodo (2021-2025) y (2026-2030) China tiene como objetivo el aumento de la participación del consumo de energía no fósil, el mejoramiento de la eficiencia energética y la reducción de emisiones respectivamente. (News Argen China, 2021).

El primer proyecto de inyección y secuestro de carbono en acuíferos salinos, lo implementa en el 2019, con una capacidad de captura de 100.000 toneladas por año y se desarrolla en Ordos, en la Región Autónoma de Mongolia Interior del Norte. Esta tecnología captura el 90 por ciento de las emisiones de (CO₂) producidas por el uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad y procesos industriales, evitando que las emisiones se sumen a la atmósfera, el gas efecto invernadero se licuará mediante purificación, enfriamiento y presurización una vez capturado, para posteriormente ser transportado al área de operación donde se inyectará en acuíferos salinos ubicados a 2.500 metros bajo tierra para su almacenamiento.

Entre los proyectos que se destacan en China, se menciona Yanchang CCUS que pretende evitar más de 400 mil toneladas de CO₂ al año en dos plantas de gasificación de carbón, y China Petroleum & Chemical Corporation (HKG: 0386, "Sinopec") considerado el primer proyecto de captura, utilización y almacenamiento de carbono en megatonnes (CCUS) de China, el CCUS del campo petrolero Sinopec Qilu-Shengli. Considerados la demostración y el caso de aplicación de CCUS de la cadena industrial completa más grande de China para promover el desarrollo a gran escala de CCUS. (Global CCS Institute, 2022)

El proyecto a escala de megatonnes lanzado por Sinopec consta de dos partes: la captura de dióxido de carbono de Sinopec Qilu y el desplazamiento y almacenamiento de dióxido de carbono de Shengli Oilfield. Sinopec Qilu captura el dióxido de carbono y lo transporta al campo petrolífero de Shengli para su posterior desplazamiento y almacenamiento, logrando una aplicación integrada de captura, desplazamiento y almacenamiento de carbono para sellar el dióxido de carbono bajo tierra. (Yang Li, et al., 2022)

Sinopec tiene una trayectoria de más de 50 años en la búsqueda de tecnologías de captura de CO₂. Sinopec ha desarrollado un nuevo tipo de amino solvente, el ácido metanosulfónico (MSA),

en comparación con la monoetanolamina tradicional (MEA), el solvente MSA disfruta de una mejora significativa y rendimiento de adsorción con un consumo de energía renovable reducido en más del 30% a su vez garantiza una tasa de captura de CO₂ de por encima del 90%, dando a este nuevo insumo mayor efectividad. Por otra parte, Sinopec llevó a cabo un estudio sobre líquidos iónicos, separación de membranas, amino solventes de sal ácida, adsorbentes de amida sólidos y alcohol no acuoso usados como disolventes de amina, estas tecnologías han procedido a pruebas a escala piloto. (Yang Li, et al., 2022)

En vías de alcanzar la neutralidad climática, China ha tomado muchas iniciativas y sin lugar a duda el apoderamiento del conocimiento científico tecnológico le ha dado una gran ventaja, no obstante decisiones acertadas como el cierre de 3 centrales eléctricas de carbón en 2017, proyectos de energía eólica, hidroeléctricas, y solar para remplazar plantas de energía a base de combustibles fósiles constituyen un aporte significativo a la disminución del cambio climático.

2.9.3 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono en Estados Unidos

Según (Arciniegas, 2021) el presidente Joe Biden ratificó en abril del 2021 la reanudación de los compromisos de su país contra el cambio climático de cara al Acuerdo de París. Esto contrasta con las acciones de la Administración anterior, de Donald Trump, que retiró a Estados Unidos del pacto internacional sobre cambio climático.

Los Estados Unidos como segunda nación con las emisiones más altas de gases efecto invernadero dispone de algunas tecnologías de captura del (CO₂) entre las de mayor potencialidad de secuestro se menciona a Petro Nova en Texas, EE. UU., entro en funcionamiento en 2017, la que es actualmente la mayor planta de captura asociada a una central térmica. Es capaz de capturar el 90% del gas generado hasta 1,4 millones de toneladas al año, lo que equivale a una potencia de 240 MW. El CO₂ separado también se emplea para potenciar la extracción de petróleo. (Global CCS Institute, 2022)

Otro proyecto que se encuentra enfocado en la tecnología de captura y almacenamiento es la alianza Repsol y Carbon-Zero, una filial de la empresa Cox Oil, para estudiar el desarrollo de proyectos de captura y almacenamiento de CO₂ (CCUS) en la costa del Golfo de México en Estados Unidos. Se estima una captura anual de entre 1,6 y 2 millones de toneladas de (CO₂) al año, que supondrán un total de 30 millones de toneladas a lo largo de la vida del proyecto comenzando, en el 2026 y hasta el 2040, con una inversión total estimada de 247 millones de euros.

En referencia a las tecnologías de utilización del (CO₂) existe estudios de inyección de CO₂ de focos de producción de este gas a instalaciones de cultivo de microalgas como la *Arthrospira* sp., *Chlorella* sp., *Isochrysis* sp. y *Nannochloropsis* sp. o la *Spirulina* y la *Chlorella*, utilizadas para la obtención de materia prima de cremas y lociones corporales ricas en proteínas. En definitiva, el objetivo es mejorar la producción incorporando (CO₂) en presencia de la luz solar para acelerar la fotosíntesis y obtener el alimento en primera instancia para los peces y en segundo momento la obtención de biomasa y el suministro de biocombustibles, impulsada por AlgaEnergy, de Estados Unidos.

Dentro de las innovaciones tecnológicas (CUC) se puede mencionar las investigaciones de la Universidad de Illinois (Estados Unidos) que desarrollan una nueva hoja artificial, al menos 10 veces más eficiente que las hojas naturales, para convertir CO₂ captado del ambiente en combustible, proceso que imita la fotosíntesis reduciendo los gases efecto invernadero. Los diseños para hojas artificiales que se han probado en el laboratorio utilizan dióxido de carbono de tanques presurizados, por otra parte, los científicos buscan mecanismos de ponerla a prueba en un estado natural, una exigencia de estos dispositivos es extraer dióxido de carbono de fuentes mucho más diluidas, como aire y gas de combustión, que es el gas emitido por las centrales eléctricas que queman carbón factor que abre una esperanza para la captura y utilización.

2.9.4 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono en Islandia

El startup suizo Climeworks ha inaugurado en 2021 la planta más grande de succión de Carbono del aire, mediante el empleo de la tecnología de Captura Directa del Aire (DAC). La planta, denominada Orca, se sitúa en el Parque Geotérmico de Hellisheidi y tiene un poder de absorción anual igual al equivalente del volumen de emisión contaminante a 870 coches que corresponde a 4000 toneladas de CO₂. Esta planta cuenta con 8 estructuras del tamaño de un contenedor de transporte que contienen cada uno de ellos una docena de ventiladores que aspiran el aire del ambiente y eliminan el carbono, lo novedoso es que será alimentada con energía de una central geotérmica, por lo que es completamente limpia. (Global CCS Institute, 2022)

El mecanismo de funcionamiento se fundamenta en atrapar el aire del ambiente a un recolector donde hay un filtro impregnado con un químico que atrapa el CO₂ y deja salir al resto de partículas a través de un ventilador. Una vez el filtro del recolector está lleno de partículas de

carbono, este se cierra y calienta el CO₂ hasta los 100 grados centígrados para posteriormente ser disuelto en agua y bombeado hasta el subsuelo donde se mineraliza convirtiéndose en rocas con el paso de los años.

Como información adicional de esta tecnología, en el mundo hay 15 plantas con captura directa de aire situadas en Estados Unidos, Canadá y Europa. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE) al año sacan de la atmósfera 9.000 toneladas de (CO₂).

2.9.5 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono Alemania

Como tecnologías de captura y almacenamiento Alemania impulso un plan piloto en el 2006 con la contribución de Vattenfall inaugurada en Stenberg, esta tecnología permite que las plantas energéticas no emitan a la atmósfera gases de efecto invernadero, sino que el dióxido de carbono se separa durante la combustión del carbón para transformarse en concreto, lignito y pasa a ser transportado y almacenado bajo tierra en depósitos de gas natural ya explotados, situados bajo terrenos de Altmark, en el norte de Alemania, para un almacenamiento permanente.

Según (Ambiente Plástico, 2018), convierte el gas de efecto invernadero en material para la producción de elastómeros. Con dicha investigación, y considerando que los elastómeros normalmente se basan en 100 % de petróleo, fue posible reemplazar 20 % del petróleo por CO₂, para generar un preproducto que se llama poliéter-carbonato-poliuretano.

Este hallazgo fue considerado un aporte para la industria textil doto de fibras elásticas fabricadas a partir de dióxido de carbono, reemplazando el uso del petróleo crudo. En colaboración con el Instituto de Tecnología Textil de la Universidad RWTH de Aachen y varios fabricantes textiles, Covestro colabora en la producción a escala industrial de estas fibras útiles para medias y textiles médicos, reduciendo de esta manera la presencia del (CO₂ atmosférico) gran aporte a la disminución de las emisiones provocadas por la industria textilera que representa el 10 % del total de las emisiones en el planeta.

Por otra parte, las innovaciones a investigaciones realizadas en el campo de tecnologías (CUC) se posesionan de manera significativa en Alemania, una investigación se enfoca en la alta demanda energética causada por los ordenadores y sus instalaciones frente a este problema en el 2020, Windcloud inauguró un centro de datos de nueva generación que es, como mínimo, neutro en CO₂. Situado en Enge-Sande, cerca de la frontera con Dinamarca, el centro alberga 24 racks con una potencia total de 60 kW. Cumple con la norma europea EN 50600 VK3, de modo

que garantiza los más altos estándares en materia de disponibilidad, seguridad y eficiencia energética, este centro de datos utiliza exclusivamente energías renovables, con un 98% de energía eólica, un recurso particularmente abundante en el distrito alemán de Frisia Septentrional. A pesar de todo, la originalidad del edificio radica principalmente en su tejado, que alberga una granja de algas espirulinas de 240 metros cuadrados, que aprovechan el calor del edificio y a su vez captura gran cantidad de (CO₂) atmosférico, y, además, la espirulina, baja en calorías, aunque con una gran cantidad de nutrientes y de antioxidantes, se utiliza en la composición de suplementos alimenticios y de cosméticos. (Agility effect, 2021).

2.9.6 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono España

Este país ha planteado sus metas de reducción de gases efecto invernadero a corto plazo, de allí que impulsa proyectos que innovan los propuestos en años anteriores o busca alternativas nuevas para las tecnologías de (CAC) como también de las (CUC). De este modo las innovaciones no se hacen esperar desde la propuesta de un filtro para ser colocado en los vehículos, convirtiéndolos en verdaderas aspiradoras de aire polucionado basado en la información proporcionada por SEPAR donde manifiesta que el tráfico provoca el 32,5% de la contaminación del aire. El proyecto en la utilización de un sistema de filtrado de aire situado bajo los coches, camiones o trenes, que absorbería el mismo a través de unas toberas situadas detrás de la rejilla, podría permitir que cada vehículo limpiara de contaminantes hasta 1.500 metros cúbicos por hora, se diferencia de los ya existentes que funcionan a base de catalizadores instalados en algunos coches. Estos solo descontaminan los gases que salen por el tubo de escape del propio vehículo, sin embargo, apenas tienen tiempo de hacerlo, el nuevo sistema filtra el aire del ambiente, donde los contaminantes están más diluidos, lo que hace más eficiente su trabajo. Este estudio científico lo desarrolla con ayuda de la universidad Jaume I de Castellón y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). (Pujals, 2021).

España ha dirigido sus estudios de captura y utilización del Carbono hacia la producción de alimentos tanto para especies animales como plantas. Si se refiere a especies animales en proyectos direccionados a la producción de algas que usan CO₂ y que a su vez son consumidas por especies acuáticas como camarones y bivalvos también producción de biomasa.

Por otra parte, LafargeHolcim España, Carbon Clean y Sistemas de Calor han creado ECCO2, una joint-venture para el desarrollo de una planta de captura de CO₂ de tecnología avanzada en la fábrica de cemento de Carboneras (Almería), el propósito del proyecto es capturar el CO₂ de

las emisiones que se generan durante el proceso de fabricación del cemento, para ser utilizado con fines agrícolas. El carbono capturado se utilizará en los invernaderos de la región, donde mejorará la productividad de los cultivos a través de un proceso conocido como fertilización carbónica, que imita y potencia la fotosíntesis natural, aumentando la ecoeficiencia de los cultivos al reducir la proporción de agua y suelo por kg de producción de vegetales. De esta manera, el proyecto contribuye con la disminución de gases causantes del cambio climático al mismo tiempo que contribuye a una economía sostenible y responsable.

2.9.7 Proyectos de captura y almacenamiento de dióxido de carbono y captura y utilización del dióxido de carbono de otras potencias mundiales

Reino Unido ha creado un plan denominado Proyecto Dreamcatcher (atrapasueños), para reducir a cero sus emisiones para 2050, que requerirá la eliminación de millones de toneladas de dióxido de carbono para compensar las fuentes de emisiones que probablemente sigan generando contaminación. El Gobierno ha empezado a proporcionar millones de dólares para desarrollar una variedad de enfoques técnicos para alcanzar esos objetivos, incluidos alrededor de 350.000 dólares.

Escocia, podría capturar hasta un millón de toneladas métricas de dióxido de carbono al año y enterrarlo en las profundidades del mar del Norte, este proyecto que se encuentra en la fase de estudio a cargo de las empresas, Carbon Engineering y Storegga Geotechnologies, permitirá aprovechar la abundante energía renovable y canalizar el dióxido de carbono capturado a sitios cercanos en alta mar, se espera que esté en marcha en 2026. (Temple, 2021).

Algunos proyectos europeos que son significativos son dignos de ser mencionados: Proyecto Cordis Proyecto Ascent), Proyecto Cemcap, Proyecto Cleanker and RFCS (Proyecto Flexical), el Grupo de Captura de CO₂ del INCAR-CSIC está jugando un papel importante en el escalado de este tipo de tecnologías, como es el caso de la planta piloto de casi 2 MW construida en la central térmica de La Pereda, Asturias, donde se ha validado la tecnología de Calcium Looping para generación eléctrica sin emisiones de CO₂ a escala pre-industrial ubicada en Italia y Orca de Climeworks en Islandia. (Fernández, 2021).

También en Rusia se ha identificado capacidad de almacenamiento en las regiones del Volga, Siberia Occidental y Yamal, con un potencial de almacenamiento combinado de más de 10.000 Mt de CO₂ en depósitos de petróleo. Del mismo modo, existen sumideros de carbono adecuados más pequeños en Kazajistán, Turkmenistán y Azerbaiyán. (Naciones Unidas, 2021).

Capítulo III

Desafíos y oportunidades futuras de la conversión y utilización del CO₂

3.1 Componentes atmosféricos y gases efecto invernadero (GEI)

Desde la revolución industrial y el apareamiento de las máquinas que funcionan a base de combustibles fósiles, el planeta sufre alteraciones en su atmósfera, el efecto antrópico ocasiona un desequilibrio en los diferentes ciclos de los componentes de los ecosistemas como agua, carbono, nitrógeno, fósforo entre otros. El incremento de gases efecto invernadero provoca un desequilibrio natural y esto sin duda ocasiona daños irreparables como el calentamiento global, en el siguiente cuadro se presenta la cantidad de gases atmosféricos presentes y su relación con el cambio climático.

TABLA 3.12 *Componentes gaseosos del aire atmosférico y su aporte al calentamiento global.*

Nº	Gas atmosférico	Porcentaje	Categoría	% que aporta al calentamiento global	
1	Nitrógeno (N ₂)	78,8 %	Componente		
2	Oxígeno (O ₂)	20,9 %	Vital		
3	Argón (Ar)	0,93 %	Componente		
4	Dióxido de Carbono (CO ₂)	0,03 %	Gas invernadero	Efecto	53 % del calentamiento total.
5	Óxido Nitroso (NO y NO ₂)	-0,17 %	Gas invernadero	Efecto	5,6 %
6	Oxido y Dióxido de azufre (SO y SO ₂)	-0,17 %	Gas invernadero	Efecto	Efecto de enfriamiento. Se cree puede regular los efectos de calentamiento de los GEI.
7	Metano (CH ₄)	-0,17 %	Gas invernadero	Efecto	15 % del calentamiento total, según ECODES.
8	Vapor de agua	0,1 a 19%	No es considerado gas invernadero,	efecto no	Oscila entre el 30% y el 70 %

			obstante, contribuye directamente	
9	El trifluorometano (CHF ₃), o fluoroforno	variable	Gas invernadero, producido por el hombre en la fabricación de chips de silicio.	efecto Variable
10	El hexafluoruro de azufre (SF ₆)	Variable	Producido por el hombre en la fabricación de aislantes	Variable

Nota: adaptado de ECODES, (2020) Cambio Climático ¿Qué son los gases efecto invernadero.
<https://ecodes.org/hacemos/cambio-climatico/que-son-los-gases-de-efecto-invernadero#:~:text=Conocidos%20por%20su%20influencia%20en,ha%20alterado%20su%20equilibrio%20natural.>

3.2 Los GEI durante la revolución industrial

La Tabla 3.14 muestra la presencia de los gases efecto invernadero (GEI) en atmósfera durante la actividad humana del año 1800, considerado periodo de transformación social, económica, conocido como revolución industrial. Thomas Newcomen inventa el primer motor a vapor, abriendo el uso de carbón a gran escala.

TABLA 3.13 Gases de efecto invernadero durante la actividad humana del año 1800.

Nº	GEI	Cantidad	Temperatura media global
1	Dióxido de Carbono	292 ppm o mg/L	13,7 °C
2	Metano	Henry y Davy (1800) describieron por primera vez la estructura química del metano. Molécula no medida.	
3	Vapor de agua	Aumenta con la temperatura esto por la vaporización del océano.	

4	Otros gases	No se registra
---	-------------	----------------

Nota: adaptado de Monroy Rios,(2018) Cronología del estudio del cambio climático.
<https://sites.northwestern.edu/monroyrios/2018/09/30/cronologia-cc/>

3.3 La huella del CO₂ desde la revolución industrial hasta la actualidad

El desarrollo económico impulsado por la industria exige el consumo de grandes cantidades de energía. La principal forma de obtención de esta se basa en la quema de carbón, petróleo y gas natural que como resultado emana a la atmósfera óxidos de azufre y de nitrógeno. Además, durante la combustión completa se producen grandes cantidades de CO₂, considerado uno de los principales gases que contribuyen al denominado efecto invernadero. En la actualidad, muchos científicos asocian el aumento de temperatura en el planeta con la emisión indiscriminada de este tipo de gases a la atmósfera.

TABLA 3.14 Relación entre las emisiones de CO₂ y la temperatura global

Nº	Año	Cantidad de CO ₂	Temperatura promedio	Lugar de medición	Entidad responsable
1	1800	292 ppm	13,7 °C		
2	1950	275 ppm			
3	1960	315 ppm	13.9 °C		Keeling mide de manera precisa CO ₂
4	2000	365 ppm			
5	2008	386 ppm		volcán Mauna Loa	Organización Meteorológica Mundial
6	2012	393 ppm			
7	2015	401 ppm	14.8 °C		
8	2016	398,71 ppm			
9	2019	415,39 ppm		Mauna Loa	
10	2020	416,21 ppm	14.81 °C		
11	2019	419 ppm			

Nota: se adaptado de varias fuentes en las que predomina (EURONEWS, 2022; Observatorio Mauna Loa , 2021) El nivel de CO₂ alcanza máximos históricos según el Observatorio de Mauna Loa en Hawái.
<https://es.euronews.com/green/2021/06/09/el-nivel-de-co2-alcanza-maximos-historicos-en-el-observatorio-de-mauna-loa-en-hawai>

En la Tabla 3.15 se puede apreciar la relación que existe entre las emisiones de CO₂ y el aumento de la temperatura en los últimos años, donde la actividad industrial se ha intensificado.

A continuación, en la Tabla 3.16, se presenta como la temperatura fue variando durante las décadas desde 1800 hasta la actual, haciendo énfasis en la diferencia de temperatura promedio que marca cada periodo de tiempo, según La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA).

TABLA 3.15 Variación de la temperatura desde el año 1800 hasta el año 2020

Nº	PERIODO DE TIEMPO	Incremento de temperatura promedio
1	1800 a 1900	-0,23
2	1900 a 2000	0.254 °C
3	2000 a 2010	0,64 °C
4	2010 a 2020	0,704 °C

Nota: adaptado de (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2022)
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>

La última década se considera como crítica, puesto que es allí donde se registra las emisiones más altas de CO₂ y como consecuencia provoca un incremento jamás registrado.

TABLA 3.17 Variación de la temperatura desde el año 1800 hasta el año 2020

Año	2008	2010	2012	2014	2016	2018	2019	2020	2021	2022
Diferenci										
a de	0.27 ^o	0.73 ^o	0.70 ^o	0.62 ^o	1.12 ^o	0.75 ^o	0.94 ^o	1.14 ^o	0.77 ^o	0.88 ^o
temperat	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
ura										

Nota: adaptado de (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, 2022)
<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>

En la Tabla 3.17 se muestra la diferencia de la temperatura entre los periodos preindustriales hasta la fecha alcanza el 1,5 °C.

3.5 Tecnologías de captura, potencial de conversión y utilización de CO₂

3.5.1 Tecnologías de Captura

A continuación, en la Tabla 3.18 se presenta los mecanismos utilizados para la captura de CO₂ utilizados en todo el mundo, como un medio de reducción de las emisiones de gases efecto invernadero consideradas como alternativas para cumplir con las exigencias mundiales sobre la responsabilidad que tienen las grandes potencias con el medio ambiente.

TABLA 3.16 Mecanismos utilizados para la captura de CO₂ utilizados en todo el mundo

Nº	Mecanismo	Proceso	Subproceso	Material empleado	Producto aplicado	
1	Post-combustión	Absorción	Química	Aminas	Monoetanolamina (MEA), Dietanolamina (DEA), Trietanolamina (TEA) y Metildietanolamina(MDEA).	
				Amoniac	Amoniac enfriado	
				Sales orgánicas en disolución (líquidos iónicos)	Diversas sales	
				Física	Carbón activo, Zeolitas.	
				Rectisol	Alcohol	Metanol frio a -40 °C
				Selexol	Éteres	dimetil éter, polietilenglicol.
				Purisol	Compuesto orgánico	N-metil pirrolidona C ₅ H ₉ NO
				Sulfinol	Aminas	Di-isopropanol amina
				Adsorción		Zeolitas
				Criogenia	Destilación fraccionada	
Membranas	Filtrar mediante		Materiales poliméricos, metálicos,			

		membranas semi permeables		zeolíticos, inorgánicos o cerámicos
		Procesos biológicos	Cultivo	Agua
				Algas consumen CO ₂
2	Pre- Combustión	Reformado de metano con vapor de agua (en inglés SMR),		Agua e Hidrógeno
				Agua e Hidrógeno en un Reactor shift-CO
		Oxidación parcial de gas natural e hidrocarburos ligeros (POX)		Gas de síntesis
		Reformado autotérmico de gas e hidrocarburos ligeros (ATR)	Oxidación	Aire u Oxígeno
		Gasificación de carbón, biomasa, residuos de petróleo y otros residuos	Oxidación parcial	Oxígeno
3	Captura Oxicombustión	Se encuentra en periodo de investigación		Oxígeno puro

Nota: Recopilado de varias fuentes en las que predomina AOP. (2020). Captura y uso del CO₂: un análisis estratégico, técnico y económico.
<https://www.aop.es/blog/2020/11/11/captura-uso-co2-analisis-estrategico-tecnico-economico/>

Para reducir las emisiones de CO₂ provenientes de corrientes gaseosas de procesos industriales, se han propuesto diversas tecnologías que incluyen la captura del CO₂, transporte y almacenamiento o bien su conversión en algún otro químico de utilidad. En los dos casos los líquidos iónicos son procesos para la recuperación o captura de CO₂ de los gases de combustión mediante absorción con aminas, monoetanolamina (MEA) y dietanolamina (DEA); pero este proceso tiene como principales desventajas la corrosión y el alto consumo energético. (Vela, Rodrigo, 2019)

Este proceso se puede sintetizar en los siguientes pasos: El Gas Crudo es alimentado por la parte baja de la columna de absorción, en donde se pone en contacto con la solución acuosa de amina y una cantidad pobre de CO₂. El gas que fue alimentado sale por el domo de la columna con una cantidad menor de CO₂, esto dependerá de las condiciones del proceso, y del tipo de solvente utilizado. Por la parte de abajo de la columna saldrá la solución rica en amina, ahora con mucho CO₂ ya que habrá absorbido la mayor cantidad de CO₂ presente en el gas de alimentación. Posteriormente, la amina rica pasa a través de un separador en donde son removidos los hidrocarburos y condensados disueltos, acto seguido, es transportada hasta un intercambiador de calor, donde es precalentada antes de ser enviada al regenerador, donde entra en contacto con vapor de agua, ya casi para concluir el proceso, el regenerador produce gas ácido por la parte superior, ya que lo que se ha producido con el calentamiento del solvente es una desorción. En la parte inferior, en cambio, tendremos una corriente de amina baja concentración de CO₂ a elevada temperatura. Este calor se recuperará haciendo circular esta corriente hasta el intercambiador. De este modo se conseguirá precalentar la corriente de amina rica, y preenfriar la corriente de amina pobre, que a continuación será recirculada hacia la columna de absorción, donde volverá a empezar el ciclo. (Li,F., et al, 2017)

Se puede manifestar que el proceso de absorción de CO₂ con amidas depende de la alcalinidad, aunque nos centramos solo en describir este proceso por ser el más común existen otras técnicas para la captura de CO₂ como: adsorción con cambio de presión, separación criogénica, adsorción física y separación mediante membranas selectivas.

3.5.2 Tecnologías de conversión

En palabras sencillas es convertir el CO₂ gas efecto invernadero en materia prima para la elaboración de productos necesarios en el día a día.

TABLA 3.17 Estudios e investigaciones de la captura de CO₂, usos y aplicaciones

Nº	Nombre del proceso o proyecto	Descripción de la investigación.	la Grupos que lo patenta	Utilidades y usos
1	Cultivo de algas pardas gigantes en el océano.	Capturar CO ₂ atmosférico o centrales térmicas con captura de CO ₂ para cultivar algas acelerando la fotosíntesis.	Pull To Refresh.	Hidrocarburos Plásticos Combustibles
2	Microalgas en la ropa	Camisetas con pintura a base de algas, estas absorben CO ₂ y desprenden O ₂ .	La marca británica Vollebak	Vestimenta
3	Algas andaluzas comedoras de CO ₂	Desarrollar algas mediante el empleo de CO ₂ capturado.	AlgaEnergy	Biocombustibles Alimento para especies menores y peces Elaboración de cremas y lociones corporales.
4	De CO ₂ a roca	Convertir el CO ₂ a mineral mediante el empleo de metales catalizadores de reacciones químicas.	Calera o Skyonic	Producción de Carbonato de Calcio materia prima para elaborar cemento.

5	Proyecto alemán CarbonCat	Microrreactor equipado con luces LED que iluminan un fotocatalizador de diamante químicamente modificado para fotosíntesis artificial.	CarbonCat	Obtención de metanol.
6	Proyecto europeo Carbon4PUR	Convertir el CO ₂ capturado en alcoholes materia prima para la elaboración de materiales de construcción.	Carbon4PUR	Poliuretano, como espumas adhesivas o aislantes térmicos para la construcción

Nota: adaptado de lavanguardia.com, (2022) En busca y captura: 7 usos para reutilizar el CO₂ y reducir emisiones. <https://www.lavanguardia.com/natural/20220527/8296136/en-busca-captura-7-usos-reutilizar-co2-reducir-emisiones-brl.html>

En la Tabla 3.19 se presenta de esta manera los estudios e investigaciones de captura del CO₂ y los posibles usos y aplicaciones, esto como una medida de extraer el CO₂ atmosférico de una forma eficiente y a bajo costo.

Como es de conocimiento la industria de la construcción es la mayor fuente de emisiones de carbono (64,65 %) de la cantidad mundial, la industria del cemento representa aproximadamente entre el 5-8 % de las emisiones de CO₂, más que toda la flota de camiones de todo el mundo. Esto depende del tipo de cemento Portland utilizado, una tonelada de cemento fabricado emite entre 0,6 y 1 tonelada de CO₂. En el ciclo de vida del cemento, más de la mitad del CO₂ procedente de la calcinación de la piedra caliza puede reabsorberse con la carbonatación. Esto ha despertado un gran interés en la industria del cemento para investigar nuevas alternativas de captura y almacenamiento de carbono en los materiales base-cemento tales como: la captura del CO₂ resultante de la calcinación de la piedra caliza, el secuestro de CO₂ en el hormigón mediante tecnologías de curado en atmósfera de CO₂ y el proceso de bucle de carbonato. (Suescum, 2022).

En síntesis, el trabajo de investigación consiste en la utilización de la capacidad de adsorción de CO₂ de las hidrotalcitas de Mg₃Al-CO₃ en su forma natural, de esta manera elaborar un tipo de mortero aditivo que evite la corrosión de la estructura metálica de las construcciones esto por el deterioro del cemento ordinario y la posterior toma de contacto del hierro con el aire.

Otro de los mecanismos de utilización del CO₂ es la elaboración de biocombustibles, mediante el proceso biometanación del CO₂, que consiste en los procesos fisicoquímicos de valorización del biogás mediante tratamiento biológico, el cual se basa en el empleo de microorganismos autótrofos que utilizan el CO₂ como fuente de carbono y el H₂ exógeno como fuente de energía para su conversión a CH₄. Este proceso se lleva a cabo por dos rutas metabólicas: La primera por metanógenos hidrogenotróficos que convierten directamente el CO₂ a CH₄ y la segunda mediante la utilización de bacterias homoacetogénicas que convierten el CO₂ a acetato y este a su vez a CH₄.

Este procedimiento está despertando el interés de la comunidad científica en la lucha contra el calentamiento del planeta puesto que promete la reducción del CO₂. (Seco, Sonia, 2022).

Las organizaciones internacionales apuntan a una reducción global de la cantidad de CO₂ atmosférico, de este modo son muchos los convenios que comprometen a las grandes potencias mundiales a reducir las emisiones de CO₂. El acuerdo de París es el de mayor relevancia por el gran llamado a sus militantes (más 191 países que la conforman) a bajar sus emisiones a cero, por esta razón países como China, Japón, Los Estados Unidos, la Unión Europea empezaron a la vitalización de cientos de proyectos enfocados a la CAC, hasta lograr la estabilidad de la temperatura global en una cifra menor a los 2 °C o que la existente no siga aumentando. Los desafíos de las grandes metrópolis industriales es llegar a aprovechar todo el carbono resultado de las combustiones y actividad humana, devolver a la naturaleza su equilibrio y garantizar la existencia de las futuras generaciones.

3.6 Desafíos de la captura de CO₂

El principal desafío de los países industrializados y aquellos que se encuentran en proceso de alcanzarla es reducir las emisiones de (CO₂) o mantenerlas en las cifras actuales, tomando en cuenta que con el incremento del calentamiento global en 1,5 tomara muchos años en recuperar a la atmósfera terrestre, el compromiso de las naciones industrializadas es contribuir a los países en desarrollo en el uso de tecnologías sostenibles, amigables con el ambiente que conllevan la reducción de combustibles fósiles en la obtención de energía aprovechando recursos que permita obtener energías limpias como la eólica, mareomotriz, biológica y otras.

TABLA 3.18 Retos sobre la captura de CO₂

Nº	Países	Retos y desafíos	Mecanismo a utilizar
----	--------	------------------	----------------------

1	En vías de desarrollo	Reducir las emisiones crecientes de CO ₂ ocasionados por la industria y el bienestar.	Incorporar tecnologías de Captura y almacenamiento a bajos costos.
		Cambiar hábitos alimenticios (reducir el consumo de carne vacuna)	Educar a los habitantes sobre los contenidos proteicos de la carne con relación a espacio y emisión de CO ₂ . Un ejemplo es remplazar la carne de res por insectos. Los grillos, llenos de proteínas y otros nutrientes, son 12 veces más eficientes que las vacas para producir alimento requieren mucha menos agua y tierra para crecer y producen solo 30 gramos de emisiones de CO ₂ por kilogramo en comparación con los de casi 3,000 de la carne vacuna.
2	Desarrollados 70 países	Neutralidad de las emisiones de CO ₂ hasta el año 2050	Incorporar a los focos de CO ₂ tecnologías de Captura de CO ₂ .
		Cumplir más allá del Acuerdo de París firmado en 2015.	Incorporar proyectos de innovación a las centrales eléctricas e industriales hasta obtener el cero en emisiones.
		Utilización de energías limpias y renovables.	Incorporar proyectos que optimicen la utilización de energías limpias, mareomotriz, eólica, solar, entre otras.
		Eliminar el Carbono de la red eléctrica	Diseñar nuevos sistemas de infraestructura masiva para el almacenamiento geológico de carbono a bajos costos.
		Dejar de producir CO ₂	
	Capturar parte del carbono atmosférico	Nuevos sistemas de captura, transporte y almacenamiento con bajo consumo de energía.	

Nota: adaptado de varias fuentes en la que predomina la información de Conama 1, (2021) Transformación del co2 en materia prima: nuevas estrategias de mitigación del cambio climático
http://www.conama.org/conama/download/files/conama2020/SDs%202020/6107_ppt_AOleaga.pdf

En la Tabla 3.20 se enumera los desafíos que se presentan al realizar la captura de Dióxido de carbono (CO₂) y los mecanismos a utilizar para corregir dicho reto.

3.7 Oportunidades de la captura de CO₂

Reducir las emisiones de (GEI) en las industrias mediante la aplicación de tecnologías que capturen, transporten, conviertan y utilicen el Dióxido de carbono como materia prima para la elaboración de productos, a pesar de que no sea tan beneficioso en el plano económico, estaría garantizando la existencia de varias generaciones. Como oportunidades se puede citar la búsqueda de nuevas formas de obtener subproductos que replacen los materiales combustibles que por su naturaleza se agotan, considerando que el gas (CO₂) siempre estará en la atmósfera y se convertirá en materia prima para la elaboración de nuevos combustibles como aquellas investigaciones en centrales térmicas de gas natural donde se obtiene a más de energía combustibles alternativos. Un ejemplo es la central de Moss Landing, en Monterey, California, Elcogas IGCC, en España, La planta NUON ubicada en Holanda, las plantas de Indiana, Wabash River en los Estados Unidos, solo por nombrar algunas. Además, el desarrollo de las tecnologías de captura, conversión y utilización de CO₂ abrirá un nuevo segmento en el mercado, por otra parte, la tecnología que se utiliza para la generación de combustibles fósiles, se encuentra suficientemente desarrollada por lo tanto solo será necesario adaptarle un sistema de captura de CO₂.

Conclusiones

El aumento de las emisiones de CO₂ a la atmósfera por efecto antrópico provoca un desequilibrio de la capa gaseosa del planeta, esto trae consigo el aumento de temperatura global, porque los GEI funcionan como un espejo refractario que impide la salida de los rayos solares hacia el espacio, este fenómeno desencadena desastres posteriores como deshielo de los casquetes polares, aumento de la cantidad de agua en el mar, mayor evaporación y precipitaciones que causan deslaves, inundaciones y aluviones, del mismo modo, el oscurecimiento global y la desaparición de ecosistemas.

Mediante el desarrollo de la investigación se pudo determinar que las industrias que liberan gran cantidad de emisiones de CO₂ son la siderúrgica (31%), refinerías de petróleo (10%), industria de cemento (27%), industria de papel (2%) y otros (30%), estas cifras son referentes proporcionales de la presencia de CO₂ atmosférico medidos en el 2020 cantidad que llega a 416,21 partes por millón (ppm), que se considera la más alta registrada en los últimos 800.000 años, este incremento provoca un aumento de la temperatura del planeta en 1 °C. aproximadamente, en comparación con la temperatura global del siglo XIX, como consecuencia de este fenómeno se tiene periodos extensos de sequías y olas de calor, cáncer a la piel y aumento de enfermedades dérmicas, afecciones respiratorias y aparición de agentes víricos y bacterianos que mutaron de aquellos que existieron en épocas pasadas, presencia de huracanes frecuentes en zonas geográficas susceptibles, el ártico se deshiela, pérdida del permafrost, y muerte de especies endémicas animales y vegetales.

Entre las tecnologías de captura, conversión y utilización de CO₂ se encuentran: la precombustión, la oxicombustión y la postcombustión, cada una se distingue por su momento y/o costo de aplicación, estas son principalmente utilizadas en plantas termoeléctricas que funcionan con combustibles fósiles, Se puede mencionar también los procesos de adsorción y absorción (física y química) que capturan alrededor de 59% y el 93.4% de CO₂ respectivamente. Dentro de este grupo de tecnologías descontaminantes, la que más se utiliza es la pre-combustión por su fácil adaptación a las plantas o fuentes de CO₂, sin embargo, la que mejores resultados brinda es la de absorción química, a pesar de que no se ha empleado en la recuperación de CO₂ en las plantas de energía, por el costo de instalación que representa, factor que se considera un limitante

para las naciones desarrolladas, de este modo se puede señalar que esta tecnología de captura es inalcanzable para los países en vías de desarrollo.

Por su parte, la tecnología de conversión de CO₂, utiliza como materia prima este GEI en diferentes áreas, como se puede mencionar el campo biológico, que aprovecha el CO₂ para el cultivo de algas artificiales y obtener biocombustibles por reducción electroquímica, también, en la industria de la construcción se usa como precursor de carbonatos y cemento mediante la mineralización, no se puede dejar de mencionar el campo energético, donde mediante reacciones de síntesis produce combustibles alcoholes, metano y esterres, para finalizar se menciona la aplicabilidad del CO₂ en diversas áreas que obtienen productos intermedios aislantes, plásticos, polímeros y fibras textiles.

La gestión integral del carbono (GIC) representa un desafío para los países que se encuentran en vías de desarrollo debido a los costos de implementación, sin embargo, la ONU, la Comunidad Europea, entre otras instituciones cooperantes, trabajan en la creación de políticas y normas de compensación de emisiones de GEI, promoviendo y financiando proyectos de conservación de ecosistemas, manejo sostenible, uso de energías limpias, restauración ambiental y otros proyectos que llevan cello verde. La finalidad de las políticas ecológicas es alcanzar el cero absoluto en emisión de CO₂, de este modo, contribuir significativamente a la conservación del planeta.

Recomendaciones

Considerando la importancia de esta investigación, y la referencia del mundo cambiante, es decir, que el planeta está sujeto a cambios constantes provocados por la influencia directa de la tecnología, se sugiere a quienes disponen del poder de decisión que influye directamente en posteriores investigaciones tomar en consideración las recomendaciones.

A pesar de que el tema es prioritario para el medio ambiente, las fuentes documentales en el repositorio de la universidad son insuficientes para el desarrollo del presente trabajo, por tal motivo, fue necesario revisar fuentes bibliográficas en plataformas de intercambio que guardan base de datos sobre publicaciones de trabajos realizados como Scopus, Springer, Science Direct. De la misma manera, se buscó información en publicaciones y páginas web de organismos internacionales como la ONU, Comisión Europea, La Organización de las Naciones Unidas para

la alimentación y la Agricultura (FAO), por lo que sería oportuno impulsar trabajos investigativos sobre tecnologías de captura de CO₂ e irlos actualizando cada año de manera que exista información que impulse nuevos trabajos.

Sobre la construcción de un estado de arte sobre tecnologías de captura, conversión y utilización de CO₂. desafíos y oportunidades futuras, se puede mencionar que existe en la actualidad proyectos que se encuentran en etapas de investigación o prueba, presentadas por países como Estados Unidos, China, Alemania, Rusia, que entraran en aplicación en posteriores años, estos a su vez motivan la aparición de nuevos estudios dando como resultados que un estado de arte sea siempre útil, y que una actualización documental sea considerado un nuevo trabajo investigativo, que puede incluso llevar el mismo tema.

Una investigación contextualizada en países en vías de desarrollo sobre el tema contribuiría a proyectar la realidad de América Latina frente al calentamiento global, también se recogería las medidas a bajo costo que se aplica para cumplir con las exigencias internacionales en lo que se refiere al cuidado del ambiente.

Bibliografía

- Abanades, J., & al, e. (2019). Captura de CO₂: tecnologías para cumplir el Acuerdo de París. Plataforma Tecnológica Española de CO₂. Recuperado de <https://docplayer.es/229882640-Captura-de-co2-tecnologias-para-cumplir-el-acuerdo-de-paris.html>
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. (2022). *Centro Nacional de Información Ambiental*. Recuperado de <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>
- Ambiente Plastico. (2018). *Cerca de tí, con Covestro, 87, 124*. Recuperado de <https://www.ambienteplastico.com/>
- AOP. (01 de 11 de 2020). *Captura y uso del CO₂: un análisis estratégico, técnico y económico*. Recuperado de <https://www.aop.es/blog/2020/11/11/captura-uso-co2-analisis-estrategico-tecnico-economico/>
- Aquaea Fundación . (2022). www.fundacionaquae.org/. Recuperado de Evolución de la temperatura global con el paso de los años: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/calentamiento-global-primaveras-tempranas-veranos-calidos/>
- Arciniegas, Y. (23 de Abril de 2021). *france24.com*. Recuperado de <https://www.france24.com/es/ee-uu-y-canad%C3%A1/20210422-cambio-climatico-cumbre-joe-biden-neutralidad-carbono-2030>
- Barrero, F. (2021). *¿Existe en Colombia una política pública y regulación que permita la implementación de tecnología de CCS?* (Tesis de Maestría, Univerisdad Externado de Colombia). Recuperado de <https://bdigital.uexternado.edu.co/server/api/core/bitstreams/39a5c1df-9165-443f-87b6-e85f60b8b246/content>
- Boyang, X., Yanmei, Y., Jian, C., Xiaobo, L., & Wang, M. (2017). Un estudio comparativo de MEA y DEA para la captura de CO₂ poscombustión con diferentes configuraciones de proceso. *Revista internacional de ciencia y tecnología del carbón*, 4, 15-24. doi:10.1007/s40789-016-0149-7
- Breyer, C., Fasihi, M., & Aghahosseini, A. (2020). Captura de aire directa de dióxido de carbono para la mitigación efectiva del cambio climático basada en electricidad renovable: un nuevo tipo de acoplamiento sectorial del sistema energético. *Estrategias de Mitigación y Adaptación al Cambio Global*(24), 43-65. doi:10.1007/s11027-019-9847-y
- Camara, A., & et, a. (2020). *Captura y almacenamiento de CO₂*. Recuperado de http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/GTs%202010/2_final.pdf
- Camilloni, I., & Vera, C. (sf). La atmósfera. *Explora e Las ciencia por el mundo*, 16. Recuperado de <http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>
- Campillo, S. (07 de Abril de 2019). *xataka.com*. Recuperado de <https://www.xataka.com/energia/extractores-co2-atmosferico-asi-funciona-tecnologia-que-necesitaremos-para-luchar-cambio-climatico>

- Cao, Y., Rehman, Z., Ghasem, N., & al, e. (2021). Intensificación de la absorción de CO₂ utilizando nanofluido a base de MDEA en un contactor de membrana. *Reporte Científico*, 11(2649). doi:10.1038/s41598-021-82304-2
- Capocelli, M., Luberti, M., I. S., D'Antonio, F., Di Natale, F., & Lancia, A. (2019). CO poscombustión captación por RVPISA en una planta reformadora a vapor de gran escala. *Diario de utilización de CO₂*, 32, 53–65. doi:10.1016 / j.jcou.2019.02.012
- Comisión Europea. (2020). *climate.ec.europa.eu*. Recuperado de https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_es
- Conama 1. (03 de junio de 2021). *conama.org*. Recuperado de TRANSFORMACIÓN DEL CO₂ EN MATERIA PRIMA: NUEVAS ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DEL: http://www.conama.org/conama/download/files/conama2020/SDs%202020/6107_ppt_AOlea.a.pdf
- CONAMA. (2020). *Captura de CO₂: tecnologías para cumplir el Acuerdo de Paris*. Madrid.
- Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). (2019). *La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) icono barra herramientas*. Madrid España: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- ECODES. (2020). *ecodes.org/*. Recuperado de <https://ecodes.org/hacemos/cambio-climatico/que-son-los-gases-de-efecto-invernadero#:~:text=Conocidos%20por%20su%20influencia%20en,ha%20alterado%20su%20equilibrio%20natural>.
- Emiliano, M.-R. (2018). *sites.northwestern.edu/*. Recuperado de Cronología del estudio del cambio climático: <https://sites.northwestern.edu/monroyrios/2018/09/30/cronologia-cc/>
- EURONEWS. (2022). *es.euronews.com/*. Recuperado de <https://es.euronews.com/green/2021/06/09/el-nivel-de-co2-alcanza-maximos-historicos-en-el-observatorio-de-mauna-loa-en-hawai>
- Fernandez, J. (2021). *Megaplantas de captura de CO₂*.
- Fundación Naturklima. (2020). *Información climática global*. Naturklima. Recuperado de <https://naturklima.eus/pdf-informacion-climatica-global.htm>
- Global CCS Institute. (2022). Recuperado de <https://www.globalccsinstitute.com/about/>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2021). *El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando*. Suiza.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre cambio climático. (2021). *Tercer informe de evaluación sobre e cambio climatico*. Suiza: Baede.
- IDEAM . (2020). *INFORMACIÓN TECNICA SOBRE GASES DE EFECTO INVERNADERO*. Bogotá.
- IPPC El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU. (2021). *Cambio Climatico 2021*.

- Khan, M., Khan, M., & Rehan, M. (2020). La relación entre el consumo de energía, el crecimiento económico y las emisiones de dióxido de carbono en Pakistán. *Innovación financiera*, 6. doi:10.1186/s40854-019-0162-0
- La Organización Meteorológica Mundial . (2021). *Estado del clima en 2021*.
- lavanguardia.com*. (27 de mayo de 2022). Recuperado de En busca y captura: 7 usos para reutilizar el CO₂ y reducir emisiones: <https://www.lavanguardia.com/natural/20220527/8296136/en-busca-captura-7-usos-reutilizar-co2-reducir-emisiones-brl.html>
- Li, F., Zhang, J., Oko, E., & al., e. (2017). Modelado de un proceso de captura de CO₂ post-combustión usando máquina de aprendizaje extremo. *Int J Coal Sci Technol*, 4, 33–40. doi:10.1007/s40789-017-0158-1
- Liu, A., Gao, M., Ren, X., Meng, F., Yang, Y., Gao, L., . . . Ma, T. (2020). Progreso actual en la reducción de dióxido de carbono electrocatalítico a combustibles en catalizadores heterogéneos. *Revista Química de Materiales A*, 8(7). doi:10.1039/C9TA11966C
- Mamani, G. (2020). *Revisión de tecnologías actuales para la producción de dimetil éter a partir de dióxido de carbono de gas natural*. (Tesis de Ingeniería, Universidad de Ingeniería y Tecnología UTEC). Recuperado de https://repositorio.utec.edu.pe/bitstream/20.500.12815/233/1/Mamani%20Paco_TI.pdf
- Manos Unidas . (12 de 2021). <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/deshielo-polos>. Recuperado de <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/deshielo-polos>
- Manos Unidas . (2022). *manosunidas.org*. Recuperado de <https://www.manosunidas.org/observatorio/cambio-climatico/impacto-cambio-climatico>
- Meteoglosario Vidsual. (11 de 01 de 2018). *A z Metetoroglosario Visual*. Recuperado de https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/437_forzamiento-radiativo
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2019). *Balance energético*. Recuperado de <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>
- Moreno, S. (2019). Estudio de sistemas de captura de CO₂ y métodos. *Habitus Semilleros de Investigación*, 2(4). doi:10.19053/22158391.13647
- Naciones Unidas . (01 de 05 de 2022). *Accion por El Clima*. Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. San Tiago: Copyright © Naciones Unidas.
- Naciones Unidas. (2020). *unfccc.int*. Recuperado de unfccc.int/es/kyoto_protocol

- Naciones Unidas. (2021). *Geologic CO2 storage in Eastern Europe, Caucasus and Central Asia*. Recuperado de https://unece.org/sites/default/files/2022-08/Geologic%20CO2%20storage%20report_final_EN_EDITED.pdf
- News Argen China. (2021). China se destaca como país líder en tecnología de captura y almacenamiento de carbono. *News Argen China*, 1.
- Observatorio Mauna Loa . (7 de Junio de 2021). *Observatorio Mauna Loa* . Recuperado de <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2764/Coronavirus-response-barely-slows-rising-carbon-dioxide>
- OMM. (19 de Enero de 2022). *Organización Metereológica Mundial*. Recuperado de <https://public.wmo.int/en/media/press-release/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>
- Organizacion de Naciones Unidas. (2019). *Cambio climático*. Recuperado de <https://www.un.org/es/global-issues/climate-change>
- Parada, N. (2017). *Tecnología de captura y almacenamiento de CO2 en sectores. Universidad de américa Industriales*. (Tesis de Pregrado, Universidad de América). Recuperado de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7123/1/210740-2017-I-GA.pdf>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Los objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Recuperado de https://unstats.un.org/sdgs/report/2021/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2021_Spanish.pdf
- Ramírez, J., & García, J. (enero de 2018). SIMULACIÓN DEL PROCESO DE CAPTURA DE CO2 y H2S. (*Tesis de pregrado, Instituto Politécnico Nacional*). Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/25201/Simulacion%20del%20proceso%20de%20captura%20de%20CO2%20y%20H2S%20del%20gas%20natural%20amargo%20por%20absorcion%20con%20monoetanolamina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, V., & et, a. (2021). Análisis comparativo de emisiones de CO2 de un moor empleando diésel y biodiésel. *Revista de investigación agraria y ambiental*, 12(2), 129. doi:10.22490/21456453.3603
- Roca, V., Beltrán, M., & Gómez, R. (2019). Cambio climático y salud. *Revista Clínica Española*, 219(5), 260-265. doi:10.1016/j.rce.2019.01.004
- Rubio, J. (2019). *Caracterización termodinámica de mezclas líquido + gas para el desarrollo de tecnologías de CO2*. (Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid). Recuperado de <https://www.grasys.com/es/technologies/adsorption/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20por%20adsorci%C3%B3n%20se,el%20nitr%C3%B3geno%20y%20el%20ox%C3%ADgeno.>
- Saldívar, S., Cabrera, J., & Reta, M. (2017). Tecnologías de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(12), 22-34. Recuperado de <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/923>
- Seco, S. (2022). *Valorización del biogás mediante el proceso de mitigación biológica del CO2*. (Tesis de maestría, Universidad de Valladolid). Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/55901>

- Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades). (2017). Toda una vida. *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021*. Recuperado de https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.pdf
- Sione, S. (2020). Reducción de emisiones de carbono por deforestación evitada en bosques del Espinal (Entre Ríos, Argentina). *Artículos de investigación científica y tecnológica*, 24(2). doi:10.14483/2256201X.16166
- Suescum, D. (junio de 2022). *Materiales de construcción captadores de CO2 para mitigación del cambio climático*. (Tesis doctoral, Universidad de Cordoba). Recuperado de <https://helvia.uco.es/handle/10396/23799>
- Temple, J. (2021). *La mayor planta de captura de CO2 de Europa podría arrancar en 2026*. Recuperado de <https://ekosnegocios.com/articulo/la-mayor-planta-de-captura-de-co2-de-europa-podria-arrancar-en-2026#:~:text=La%20mayor%20planta%20de%20captura%20de%20CO2%20de%20Europa%20podr%C3%ADa%20arrancar%20en%202026,-martes%203%20agosto&text=La%20instalaci%C3%B3n%20de%20la%20planta%20de%20captura%20de%20CO2%20de%20Europa%20podr%C3%ADa%20arrancar%20en%202026,-martes%203%20agosto>
- Thakur, M. (2020). Oscurecimiento global y calentamiento global. *Paradigmas en la Prevención de la Contaminación*, 61-70. doi:10.1007/978-3-319-58415-7_5
- Vela, R. (2019). *Mejora de propiedades adsorptivas de la zeolita tipo chabasita para la captura de CO2 de postcombustion*. (Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Puebla). Recuperado de <https://1library.co/document/qo5v37my-mejora-propiedades-adsorptivas-zeolita-tipo-chabasita-captura-combustion.html>
- Volker, S., & al, e. (2019). La necesidad y el camino hacia la evaluación armonizada del ciclo de vida y la evaluación tecnoeconómica para la captura y utilización de dióxido de carbono. *Energy Technology*, 8(1901034). doi:10.1002/ente.201901034
- Yang, L., Wang, R., Zhao, Q., & Xue, Z. (2022). Avance tecnológico y trayectoria de industrialización de Sinopec en captura, utilización y almacenamiento de carbono, China. *Energy Geoscience*, 2-4. doi:10.1016/j.engeos.2022.04.003