

Avances en los Estudios del CO₂ para mitigar el aumento de los gases de Efecto Invernadero

Pedro Ángeles Chero¹

Resumen

Cerca de la mitad de la luz del sol atraviesa las nubes y el aire en el planeta tierra, llega a la superficie, se absorbe y luego se irradia nuevamente en forma de calor. Parte de este calor lo absorbe los gases de efecto invernadero (GEI) y se devuelven hacia la superficie, calentándola hasta una temperatura promedio de 15°C que es perfecta para la vida, sin embargo el aumento de gases de efecto invernadero hace que esta temperatura promedio aumente dando lugar al fenómeno llamado calentamiento global. El gas presente en mayor proporción es el CO₂, de allí que el objetivo de esta nota es informar al mundo académico y no académico, los avances de la ciencia en los estudios del dióxido de carbono para mitigar el aumento de los gases de efecto invernadero. La noticia es de alto impacto, debido a que permite conocer los avances de la atención que se le ha venido dando al CO₂ desde que los científicos e ingenieros se preocuparon por reducir la presencia de CO₂ en los gases residuales de la combustión, donde existe alto contenido de CO₂. Las investigaciones científicas indican que hoy es posible producir combustibles, productos químicos, polímeros, y hasta energía limpia a partir del CO₂. Es así que el CO₂ se está convirtiendo en una nueva alternativa que producirá energía limpia y ayudará a mitigar el calentamiento global.

Los avances científicos en captura, almacenamiento y conversión productiva del CO₂ presenta tres escenarios. El primero dedicado a capturar el CO₂ y evitar su expulsión al medio ambiente, el segundo al almacenamiento y un tercero y actual, para convertir el CO₂ en productos útiles y menos contaminantes. Son diversas las publicaciones que existen en el mundo científico sobre estudios realizados en torno a estos tres aspectos, y todos ellos demuestran gran interés por reducir la presencia de este gas en los GEI.

En este contexto, los investigadores han encontrado nuevas formas de capturar CO₂ en los gases de escape de los hornos de combustión y calderas en plantas industriales que es donde está presente en grandes cantidades, así como también, han encontrado como convertir el CO₂ en productos de uso industrial o comercial, y también en energía eléctrica utilizando CO₂ en solución acuosa y en una celda electrolítica, donde se puede producir hidrógeno y electricidad de forma simultánea.

Palabras clave: Dióxido de carbono (CO₂), Captura de CO₂, almacenamiento de CO₂, Gases de efecto invernadero (GEI), Hidrógeno, energía eléctrica, electrólisis.

Advances in CO₂ Studies to mitigate the increase of greenhouse gases

Abstract

About half of the sunlight passes through the clouds and air on planet earth, reaches the surface, is absorbed and then radiates again in the form of heat. Part of this heat is absorbed by the greenhouse gases (GHG) and is returned to the surface, heating it to an average temperature of 15°C that is perfect for life, however the increase of greenhouse gases makes increase this temperature. This phenomenon is called global warming.

The most present gas is CO₂, hence the purpose of this note is to inform the academic and non-academic world, the advances of science in the control of carbon dioxide in greenhouse gases. The news is of high impact, because it allows to know the evolution of the attention that has been giving to the CO₂ since the scientists and engineers were concerned to reduce the presence of CO₂ in the residual gases of the combustion, where exists high Content of CO₂. Advances in scientific research indicate that today it is possible to produce fuels, chemicals, polymers, and even clean energy from CO₂. So CO₂ is becoming a new alternative that will produce clean energy and help mitigate global warming. Scientific advances in CO₂ capture, storage and conversion have three scenarios. The first dedicated to capture CO₂ and avoid its expulsion to the environment, the second to storage and a third and current, to convert CO₂ into useful and less polluting products. There are several publications in the scientific world on studies carried out around these three aspects, and all of them show great interest in reducing the presence of this gas in GHGs.

In this context, researchers have found new ways of capturing CO₂ in exhaust gases from combustion furnaces and boilers in industrial plants where it is present in large quantities, as well as finding ways to convert CO₂ into products Industrial or commercial use, and also in electrical energy using CO₂ in aqueous solution and in an electrolytic cell, where hydrogen and electricity can be produced simultaneously.

Keywords: Carbon dioxide (CO₂), Capture of CO₂, storage of CO₂, greenhouse gases (GHGs), hydrogen, electricity, electrolysis.

¹Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias – UNPRG

pangeles@unprg.edu.pe

Introducción

El calentamiento global es producto del aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre. El aumento de estos gases hace que los rayos solares que llegan al globo terrestre, muchos no reboten al espacio sino que se queden atrapados en la tierra originando un aumento de la temperatura y con ello una serie de fenómenos climatológicos como son el aumento de las lluvias como consecuencia de mayor evaporación del agua, las sequías en algunas zonas, el derretimiento de los glaciales con el consecuente aumento del nivel de las aguas del mar, los vientos huracanados, y lógicamente los cambios en el comportamiento de las estaciones del año conocido como cambio climático.

Uno de los temas principales de los científicos es actualmente el estudio del calentamiento global, los gases de efecto invernadero, con un enfoque especial en el gas carbónico por ser el gas más nocivo y porque es el de mayor presencia en la composición después del vapor de agua. Este es el objetivo principal de esta nota, por el gran interés que se tiene en conocer que se está haciendo para controlar el CO₂ que es producto de las emisiones antropogénicas que ocurren en las grandes instalaciones de combustión en la tierra. El análisis de este avance presenta tres escenarios. El primero refleja los estudios por atrapar el CO₂ antes que escape y forme parte de los gases de efecto invernadero, el segundo está orientado

a los estudios de como almacenarlo, y actualmente las investigaciones se enfocan en como convertirlo en sustancias químicas de mayor valor y que no forme parte de los gases de efecto invernadero.

CO₂ y Gases de efecto invernadero

El dióxido de carbono es un compuesto químico de 1 molécula de carbono y dos moléculas de oxígeno (CO₂). Está presente en la atmósfera en pequeñas cantidades (370 ppmv) y desempeña un papel vital en el entorno de la Tierra como un ingrediente necesario en el ciclo de vida de las plantas y animales.

Durante la fotosíntesis las plantas asimilan el CO₂ y liberan oxígeno. La emisión del CO₂ se da por actividades antropogénicas entre las que cuentan: la combustión de combustibles fósiles y de materiales que contienen carbono, la fermentación de los azúcares, y la respiración de los seres humanos. (Ocampo, N., 2014)

Las fuentes naturales de CO₂, incluyen la actividad volcánica. El CO₂ gaseoso tiene un olor ligeramente irritante, es incoloro y es más denso que el aire. Aunque es un constituyente normal del aire, las altas concentraciones de CO₂ pueden ser peligrosas.

A temperatura y presión atmosférica, el dióxido de carbono se comporta como

un gas, como se muestra en la tabla 1 de propiedades físicas. A temperaturas bajas (-78°C) el CO₂ es un sólido; a esta temperatura se sublima a estado de vapor. A temperaturas entre -56.5°C y 31.1°C, el CO₂ pasa de vapor a líquido por compresión a la presión correspondiente de licuefacción. Es decir, a temperatura mayor a 31°C y con presión mayor que 73,9 bar, el CO₂ está en el punto crítico, y a -56,6°C y 5,1 atm el CO₂ estará en estado supercrítico en el que se comporta como un gas; de hecho bajo alta presión, la densidad

del gas puede ser muy grande, acercándose o incluso superior a la densidad del agua líquida. El almacenamiento del CO₂ resulta muy relevante. En los límites de sólido-gas, sólido-líquido y líquido-gas el calor se libera o absorbe en cada uno de los cambios de fase, sin embargo, los cambios de fase de la condición supercrítica a líquido no requieren o libera calor. Esta propiedad es útil para diseñar instalaciones de compresión de CO₂, ya que se evita manejar calor asociado al cambio de fase líquido-gas.

TABLA 1. Propiedades físicas del CO ₂	
PROPIEDAD	VALOR
Peso molecular	44.01
Temperatura crítica	31.3 °C
Peso Presión crítica	73.9 bar
Densidad crítica	467 kg/m ³
Temperatura del punto triple	-56.5 °C
Presión del punto triple	5.18 bar
Punto de ebullición (sublimación)	1.013 bar -78.5 °C
FASE GASEOSA	
Densidad (1.013 bar, punto de ebullición)	2.814 kg/m ³
Densidad del gas (@ STP)	1.976 kg/m ³
Volumen específico (@STP)	0.506 m ³ /kg
C _p (@STP)	0.0364 kJ/mol.°K
C _v (@STP)	0.0278 kJ/mol.°K
C _p /C _v (@STP)	1.308
Viscosidad (@STP)	13.72 μN.s.m ²
Conductividad térmica (@STP)	14.65 mW/(m.°K)
Solubilidad en agua (@STP)	1.716 vol/vol
Entalpía (@STP)	21.34 kJ/mol
Entropía (@STP)	117.2 J.mol/°K
Entropía de formación	213.8 J.mol/°K
FASE LÍQUIDA	
Presión de vapor (a 20 °C)	58.5 bar
Densidad de líquido (a -20 °C y 19.7 bar)	1032kg/m ³

Figura 1. STP significa a Presión y Temperatura Normal de 0°C y 1.013 bar.
Traducido de: Air Liquide gas data table; Kirk-Othmer (1985); NIST (2003).

Emisiones y usos del gas carbónico

Según la IEA (2016) las proyecciones futuras indican que la proporción de las emisiones de CO₂ se reducirá hacia el 2050 en aproximadamente 1/6 de las emisiones totales de CO₂. Muchas de estas emisiones proceden de calderas y hornos que queman combustibles fósiles y por lo general son expulsados por tubos de escape o chimeneas. Estas fuentes estacionarias son grandes si los comparamos con las fuentes móviles, como las del sector de transporte y las fuentes fijas pequeñas, como los sistemas de calefacción que se usan en el sector residencial. Las grandes fuentes estacionarias pueden convertirse en fuentes potenciales para instalar plantas de captura de CO₂.

En los complejos industriales como por ejemplo las refinerías se encuentran múltiples escapes, los cuales presentan un reto técnico adicional en cuanto a la integración de un sistema de recogida de gases de escape IEA (2016).

Los usos industriales de CO₂ incluyen procesos químicos y biológicos donde en los que este gas es un reactivo, tal como se utiliza en la producción de urea y metanol, así como en diversas aplicaciones tecnológicas como por ejemplo en la industria de horticultura, refrigeración, envasado de alimentos, soldadura, bebidas y extintores de incendios. Es grande el esfuerzo que los científicos vienen

realizando con el propósito de encontrar mayor uso del CO₂. La Oficina de Energía Fósil del Departamento de Energía de los Estados Unidos, Energy.Gov (2016), explica que el uso y la reutilización del dióxido de carbono (CO₂) en la actualidad se centra en la conversión de CO₂ en productos utilizables y combustibles que reduzcan las emisiones de CO₂ en las zonas donde el almacenamiento geológico puede no ser una solución óptima.

Éstas incluyen: Recuperación mejorada de petróleo / gas por inyección de CO₂, el uso de CO₂ como materia prima para producir productos químicos como son los combustibles y los polímeros, el almacenamiento de CO₂ no geológico inmovilizado en forma permanente al producir un material sólido estable que sea producto útil con valor económico o un material producido bajo costo, el almacenamiento indirecto mediante la eliminación de CO₂ en el aire (como la fotosíntesis mejorada) o mediante el aumento de la ingesta de carbono en la vegetación y los suelos terrestres; para producir agua a partir del CO₂ almacenado en formaciones salinas y luego encontrar aplicaciones útiles para el agua desalada. Finalmente, estudios de vanguardia para desarrollar nuevas aplicaciones de CO₂ que limiten sus emisiones en el aire y el enfoque hacia nuevos microbios que consuman CO₂ y produzcan productos o combustibles útiles, (Energy.gov, 2016).

Otro aspecto importante por conocer es que en el mundo actual se utiliza cerca de dos tercios del total del CO₂ para producir urea, y en la producción de otros fertilizantes y productos químicos. Parte del CO₂ se extrae de pozos naturales, y algunos vienen de fuentes industriales, principalmente de fuentes de alta concentración, como las plantas de amoníaco e hidrógeno.

En el NTL (2016), Laboratorio Nacional de Tecnología Energética (por sus siglas en inglés, National Energy Technology Laboratory) del Departamento de Energía de los Estados Unidos, existen otros desafíos para el uso y re-uso del CO₂. Uno consiste en determinar la mejor manera de aprovechar las fuentes de energía, desde que se forma el CO₂ en los combustibles y en la energía requerida por los productos

químicos. En la fotosíntesis, la fuente de energía es la energía solar, sin embargo, para aplicaciones solares, procesos químicos o en el uso de microbios, el uso tiene que ser dado sobre la mejor manera de aprovechar la energía solar u otras, otro reto es encontrar nuevos caminos de reacción, nuevos catalizadores y nuevas enzimas.

Esto es importante para nuevos enfoques en el uso de CO₂, como por ejemplo para fabricar polímeros. Todos estos nuevos retos se ven más motivados cuando observamos el progreso de las emisiones en los últimos años y nos imaginamos el inmenso daño que genera el CO₂ como gas de efecto invernadero. En la figura 2 se ilustra las emisiones del CO₂ atmosférico desde Julio de 1958 a Julio de 2016.

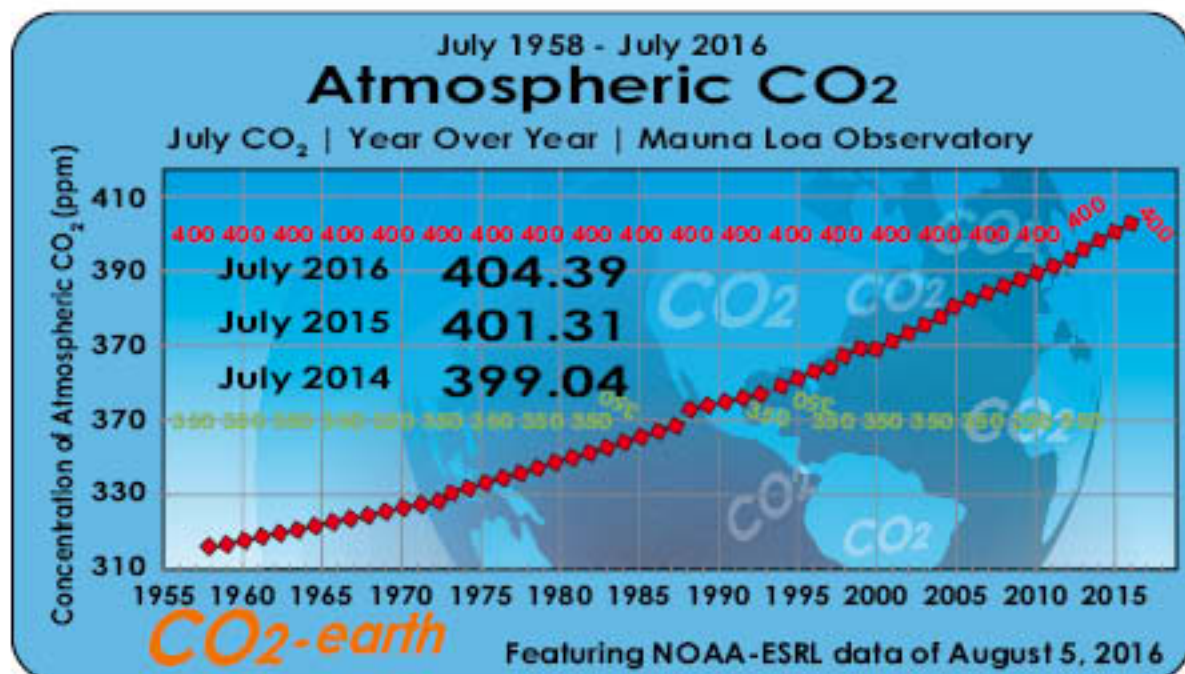


Figura 2. Emisiones del CO₂ atmosférico desde Julio de 1958 a Julio de 2016. NOAA-ESRL (2016).

NOAA-ESRL (2016) de las siglas en inglés (National Oceanic & Atmospheric Administration) indica que las actuales emisiones de combustibles fósiles son del 0,6% por encima de las emisiones en 2013 y un 60% por encima de las emisiones en 1990 (año de referencia en el Protocolo de Kyoto). El Proyecto Global de Carbono para el 2015 estimó una reducción del 0,6% de las emisiones globales y esto no se ha cumplido, (CO₂ - earth, 2016).

El IPCC (2007), por las siglas en inglés (Intergovernmental Panel of Climatic Change) es la entidad científica más importante en la materia, e investigó que el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y hoy son evidentes los incrementos de las temperaturas globales promedio del aire y de los océanos, el derretimiento total de las formaciones de hielo y nieve, y el aumento del promedio global del nivel del mar.

Captura y almacenamiento del CO₂

Ocuparnos de la captura del dióxido de carbono, implica capturar el CO₂ que se elimina en los gases de combustión de combustibles fósiles, en las plantas de

generación de energía, en la preparación de combustibles fósiles, y en el procesamiento de gas natural. Se incluye la combustión de combustibles basados en la biomasa y en procesos industriales, como por ejemplo en la producción de hidrógeno, amoníaco, hierro, acero y cemento. La captura de CO₂ consiste en separar este gas de otros gases y luego almacenarlo. Esta captura conduce a la producción de una corriente concentrada de CO₂ a alta presión que puede ser fácilmente transportado para su almacenamiento, (Metz, B., Davidson., Coninck,H., Loos, M., Meyer, L., 2005). La figura 2 ilustra los sistemas de captura del CO₂ desde los combustibles fósiles y la biomasa.

Los usos industriales de CO₂ incluyen procesos químicos y biológicos donde el CO₂ es un reactivo, tales como los utilizados en la producción de urea y metanol, y aplicaciones tecnológicas que utilizan CO₂ directamente, por ejemplo en la horticultura industrial, la refrigeración, envasado de alimentos, soldadura, bebidas y extintores de incendios. (Metz, B., Davidson., Coninck,H., Loos, M., Meyer, L., 2005).

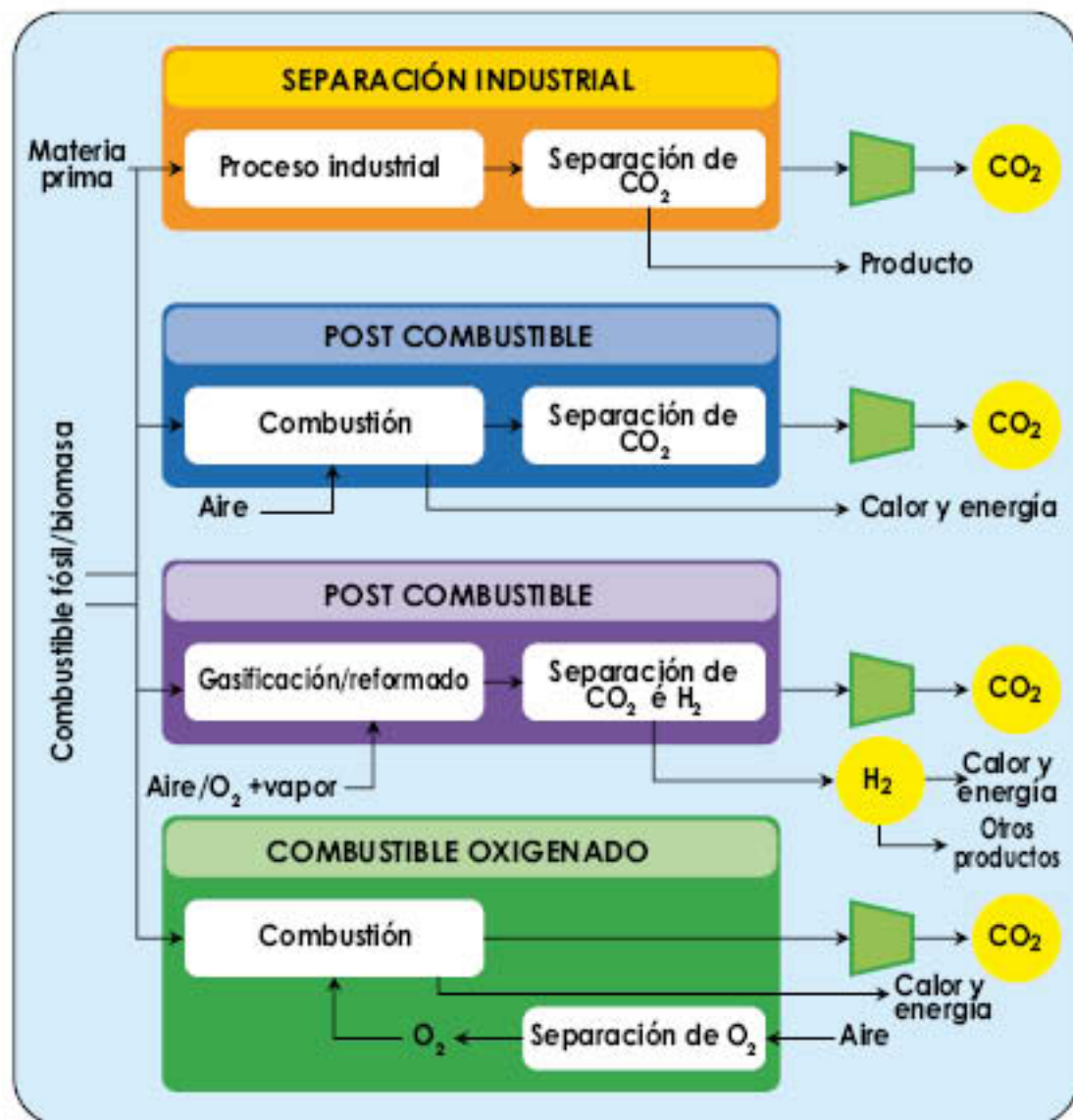


Figura 3. Esquema de los sistemas de captura del CO₂. (Cortesía CO₂CRC).

Una práctica actual es transportar el CO₂ de bajas concentraciones para ser inyectado bajo tierra, sin embargo los costos de energía y otros asociados hacen que este enfoque sea poco práctico. Por lo tanto, lo recomendable es producir flujos de CO₂ casi puro, para el transporte y almacenamiento.

Las aplicaciones de separación de CO₂ en las plantas industriales,

incluyendo plantas de tratamiento de gas natural e instalaciones de producción de amoníaco, ya están en funcionamiento en la actualidad. (Metz, B., Davidson, Coninck, H., Loos, M., Meyer, L., 2005).

Conviene resaltar que hoy, en muchos procesos como la fermentación, el CO₂ se emite a la atmósfera.

Tabla 1.
Componentes del sistema de captura y almacenaje de CO2.

Componente de Captura y Almacenamiento de CO2	Tecnología de Captura y Almacenamiento de CO2	Fase de Investigación	Fase de Demostración	Económicamente Factible bajo condiciones específicas	Mercado maduro
Captura	Post - combustión			X	
	Pre - combustión			X	
	Combustión con combustible oxigenado		X		
Transporte	Separación industrial (procesamiento del gas natural, producción de amoníaco)				X
	Tubería				X
	Transporte			X	
Almacenamiento Geológico	Mejora recuperación de petróleo				X
	Campos de petróleo o gas			X	
	Formación salina			X	
Almacenamiento en Océano	Mejora recuperación de metano en lecho de carbón.		X		
	Inyección directa (tipo disolución)	X			
	Inyección directa (tipo lake)	X			
Carbonatación mineral	Minerales de silicato natural	X			
	Minerales residuales		X		
Usos industriales del CO2					X

Para asegurar la eliminación de CO2 continua con alta eficiencia en una corriente de gas, Lin, A., Xinhai Y., Jie Y., Shan-Tung T, & Jinyue Y. (2015) utilizaron un método con membrana superhidrofóbica alternativa.

Conversión del CO2

Las investigaciones en conversión del CO2 son tal vez las más interesantes, sobre todo las que utilizan la reducción electroquímica que está permitiendo producir nuevos productos y hasta energía eléctrica en procesos limpios.

Metz, B., Davidson., Connick H.,Loos, M., & Meyer, L., 2005), sostienen

que la conversión del dióxido de carbono para producir nuevos productos que sean sostenibles y que reduzcan la huella de carbono es un escenario atractivo para el mundo industrial. Existe abundante CO2, disponible para transformarlo, es renovable y de bajo costo. La figura 3 ilustra los productos que se podrían obtener por electrólisis del CO2.

Beck, J., Johnson, R., & Naya, T. (2010), analizaron la factibilidad de aplicar las tecnologías de producción de hidrocarburos combustibles,y secuestación o reducción de emisiones de CO2. La conversión electroquímica del CO2 está dando lugar a la obtención

de diversos productos químicos como se muestra en la figura 3. Por otro lado, desde hace algunos años la industria de los polímeros viene explorando el uso de materias primas renovables como el CO₂, así por ejemplo, la producción de polímeros a base de CO₂ se hizo en la producción de policarbonatos alifáticos al reaccionar directamente epóxidos con dióxido de carbono. También, los policarbonatos aromáticos a base de bisfenol A (BPA)

se pueden producir por reacción de un Epóxido con dióxido de carbono. Los polímeros a base de CO₂ contienen hasta 50% de dióxido de carbono.

Un equipo de científicos de China ha descubierto un nuevo proceso que puede convertir el dióxido de carbono (CO₂) en combustible líquido, según publica la revista Nature. (20 minutos, 2016). Así mismo, Lara Martín Ortín. (2014,

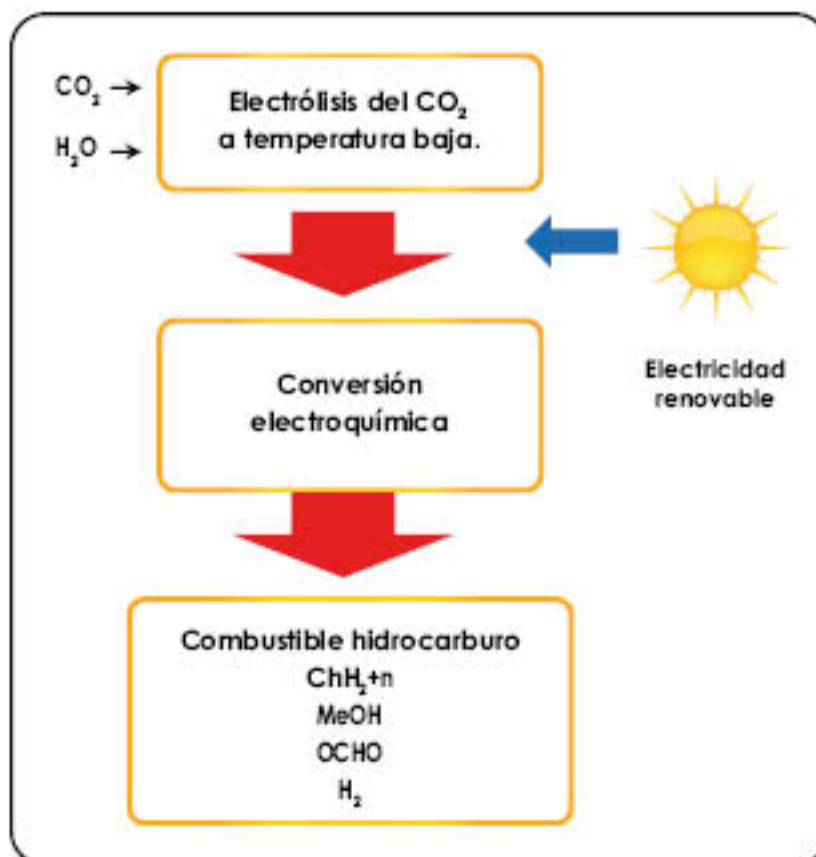


Figura 4. Esquema de la conversión del CO₂. Traducido de: Schematic of CO₂ Conversion. Electrochemical CO₂ Conversion System (2016).

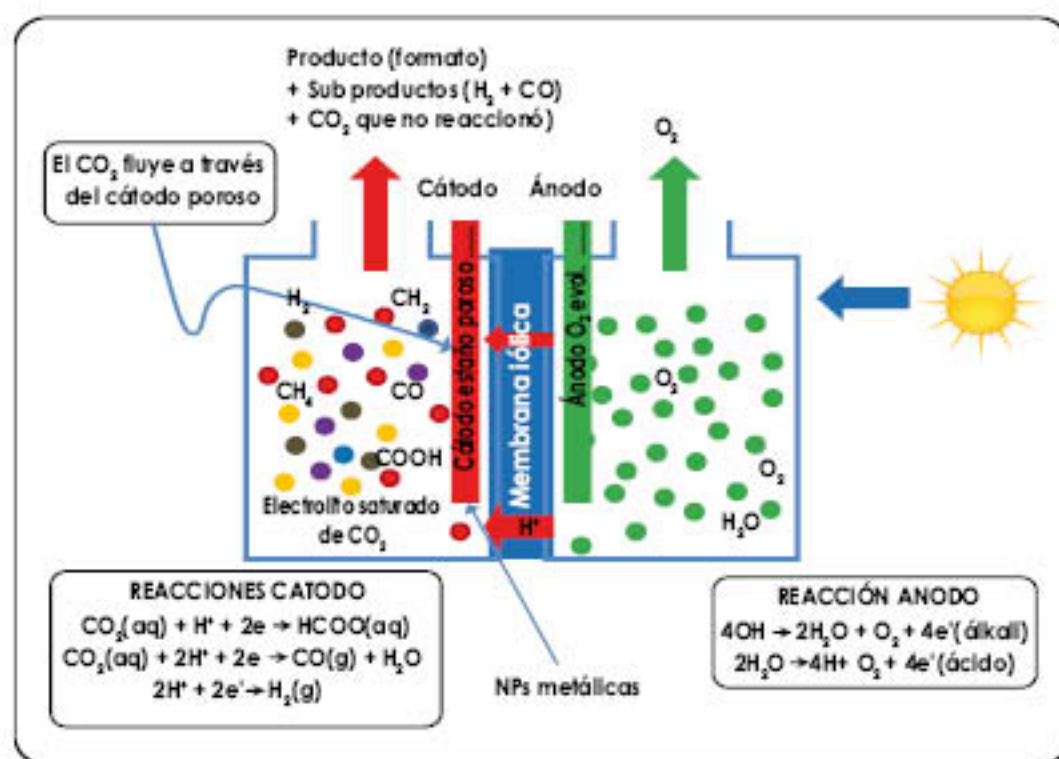


Figura 5. Esquema de la conversión del CO₂. Traducido de: Schematic of CO₂ Conversion. *Electrochemical CO₂ Conversion System* (2016).

Discusión

La realidad de los hechos en el mundo científico dan la apariencia de un futuro del planeta lleno de esperanzas en la medida que se mitigara la producción de CO₂ en el planeta tierra con nuevas tecnologías que permitirán atrapar mejor el CO₂ para evitar que escape a la atmósfera y engrose los gases de efecto invernadero, y que podrá ser transformado a productos químicos de mayor utilidad y menor contaminación ambiental. Los avances científicos permiten sospechar que los gases de efecto invernadero no se verán incrementados al mismo ritmo de como han venido aumentando en los últimos años, siempre que en un mediano plazo se pongan en operación muchas de las tecnologías que se desarrollen a raíz de los

resultados de las múltiples investigaciones actuales sobre captura, almacenamiento y conversión del CO₂ a productos útiles para la humanidad y sin los efectos al calentamiento global y cambio climático de nuestro planeta.

La tecnología para convertir el CO₂ por reducción electroquímica ha logrado obtener metano, carbonatos, etanol, polímeros, combustibles, e hidrógeno del cual se puede producir electricidad. Estas últimas tecnologías nos hacen suponer que el futuro del CO₂ es muy prometedor, en cuanto menor sea su presencia en los gases de efecto invernadero, menores serán los efectos sobre el cambio climático y el calentamiento global.

Referencias bibliográficas

- Beck, J., Johnson, R., & Naya, T. (2010). Electrochemical Conversion of Carbon Dioxide to Hydrocarbon Fuels. EME 580 Spring 2010. England. Disponible en http://www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/egee580/2010/Final%20Reports/co2_electrochem.pdf
- CO₂-earth.(2016). Global Carbon Emission. Recuperado de <https://www.co2.earth>
- Energy.gov.(2016).Office of Fossil. U.S. Department of Energy. Recuperado de <http://energy.gov>.
- IEA.(2016).International Energy Agency Secure, Sustainable, Together. Recuperado: <https://www.iea.org>.
- IPCC, (2007).Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al IV Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático IPCC, PNUMA, OMM. Ginebra, Suiza Recuperado: <http://www.ipcc.ch/>
- Kirk-Othmer. (1985). Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. 4.5th edition. John Wiley & Sons, p-804.
- Lamas, B., Navarrete, B., Vega, F., Rodríguez, E., Mazadiego, L., Cámara, P., & Otero. (2016). Greenhouse Gas Emissions – Carbon Capture, Storage. Disponible en: <http://www.intechopen.com>
- Lara Martín Ortin. (2014). Conversión de CO₂ a Combustibles líquidos. Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Química y Ambiental Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Disponible en: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/20406/fichero/PFC_Lara+Mart%C3%ADn+Ortin.pdf
- Lin A., Xinhai Y., Jie Y., Shan-Tung T., Jinyue Y. (2015).CO₂ capture using a superhydrophobic ceramic membrane. East China University of Science Technology, Shanghai, China.
- Metz, B., Davidson, O., Heleen de Coninck, Loos, M., & Meyer, L. (2005) Carbon dioxide capture and storage. Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. New York.
- NOAA.(2016).U.S.Department of Commerce | National Oceanic and Atmospheric Administration. Earth System Research Laboratory. Recuperado: <http://www.esrl.noaa.gov/>
- NOAA-ESRL.(2016). Radiative Forcing of Climate by non-CO₂ Atmospheric Gases. Earth System Research Laboratory. Recuperado de: <http://www.esrl.noaa.gov/>
- NTEL.(2016). CO₂ Capture. National Energy Technology Laboratory. Dpto.of Energy. Recuperado de: <http://www.netl.doe.gov/research>.
- Ocampo, N. (2014). Fotosíntesis. Sistema de Información Virtual. Universidad

Autónoma del Estado de Hidalgo.
Disponible en: <http://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/15794/LECT110.pdf?sequence=1>

20 minutos. (2016). Descubrimiento de un método de conversión del CO2

en combustible líquido. Tierra viva, sostenibilidad y medio ambiente. Disponible en: <http://www.20minutos.es/noticia/2643440/0/descubierto-metodo-conversion-co2-combustible-liquido/#xtor=AD-15&xts=467263>