AVANCES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA CAPTURA, USO Y ALMACENAMIENTO DE CO2 EN MÉXICO





AVANCES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE CCUS EN MÉXICO

Secretario de Energía

Pedro Joaquín Coldwell

Subsecretario de Planeación y Transición Energética

Leonardo Beltrán Rodríguez

Director General de Energías Limpias

Efraín Villanueva Arcos

Directora de Tecnologías Limpias

Jazmín Mota Nieto

Diseño y Edición

Héctor Ortega Flores

La impresión de este documento fue financiada por el Carbon Capture and Storage Trust Fund (CCSTF) operado por The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD) / The World Bank (WB) como parte del apoyo al proyecto "Carbon Capture, Utilization and Storage Development in Mexico". El contenido del documento así como la precisión y veracidad de los datos incluidos en él son responsabilidad de la Secretaría de Energía, autora, editora y dueña de los derechos de autor del reporte.

CONTENIDO

Mensaje del Secretario de Energía

¿Qué es CCS/CCUS?

Aplicaciones de la Tecnología

Portafolio Global de Proyectos de CCS/CCUS

¿Por qué CCUS?

La Ruta Crítica de CCUS en México

Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México

Colaboración Internacional

Desarrollo de Capacidades y Proyectos Piloto

Política Pública

Referencias

1

2

3

4

5

8

11

14

16

17

18



MENSAJE DEL SECRETARIO DE ENERGÍA



En diciembre de 2013 entró en vigor la Reforma Energética, que incluyó mecanismos para propiciar la transición energética y el aprovechamiento de tecnologías de generación más amigables con el medio ambiente.

Bajo esta premisa, es pertinente desarrollar proyectos para reducir las emisiones asociadas a las actividades del sector, dado que en el futuro se prevé que continúe incrementando la demanda energética.

Durante la Conferencia de las Partes (COP) 21 celebrada en París, en diciembre de 2015, el presidente Enrique Peña Nieto reafirmó el compromiso de México para transitar a una economía baja en carbono y construir un mundo más resiliente.

México tiene la meta de que en 2024 al menos 35% de la generación de energía eléctrica provenga de energías limpias y, de acuerdo a lo establecido en los Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el periodo 2020-2030, el país también asumió el compromiso

internacional de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 22% para 2030 y en un 50% para 2050. Estos objetivos están previstos en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, que es uno de los instrumentos rectores de la política nacional de eficiencia energética.

En atención a las recomendaciones de la Agencia Internacional de Energía, promovemos la Captura, Uso y Almacenamiento de CO2 (CCUS, por sus siglas en inglés). Con las tecnologías asociadas a éstas, es posible reducir las emisiones provenientes del uso de combustibles fósiles en la generación de energía y en los procesos industriales.

La presente publicación presenta los avances realizados en materia de CCUS en México a lo largo de estos años. Tenemos el firme compromiso de impulsar el desarrollo de las energías limpias y la transición energética.

Pedro Joaquín Coldwell

Secretario de Energía Enero 2018 El sector energético mundial enfrenta nuevos retos asociados al abasto de energía y la diversificación de la matriz energética que hacen necesaria la generación de energía eléctrica mediante tecnologías limpias para reducir el impacto en el medio ambiente y promover una industria sustentable y baja en emisiones de carbono.

El estudio "Perspectivas de la Tecnología Energética" de la Agencia Internacional de Energía (AIE) indica que en 2013, los combustibles fósiles dominaron la matriz energética, con el 81% de la demanda de energía primaria a nivel mundial [1]. Incluso con la premisa acordada a nivel global de mantener el incremento de la temperatura por debajo

de los 2 °C, se estima que los combustibles fósiles ocuparán el 60% de energía utilizada a nivel mundial en 2040.

Sin embargo, es claro que muchos países desarrollados han planteado metas para reducir el uso de este tipo de combustibles y emplear más energías limpias en sus procesos, lo cual ayudará a equilibrar el aumento de la demanda de energía de los países en vías de desarrollo. En este sentido, los nuevos esquemas de negocio implementados en el sector energético tendrán importantes implicaciones para la toma de decisiones en proyectos de generación de energía y procesos industriales.

Gracias a los proyectos de **CCS** hoy en día, se capturan 27 millones de toneladas de CO₂ cada año.

¿Qué es CCS/CCUS?

La tecnología de CCS (Carbon Capture and Storage, por sus siglas en inglés) o CCUS (incluyendo el "Uso") se refiere a un conjunto de procesos que incluye la captura de CO₂ proveniente de industrias que emplean combustibles fósiles para sus procesos, luego de ser separado es transportado para su almacenamiento geológico en formaciones salinas profundas, lechos de carbón no explotables o yacimientos de aceite.

La tecnología de CCS juega un papel clave para la reducción de emisiones contaminantes junto con las energías renovables y la eficiencia energética.

Etapas, La cadena de CCS incluye cuatro etapas:



El CO₂ es capturado en fuentes fijas de emisiones;

Después es comprimido y transportado por tuberías, pipas, buques o tren; Entonces es inyectado en estado supercrítico en formaciones geológicas para su confinamiento permanente o uso en recuperación mejorada de aceite. Antes, durante y después del proceso, se emplean sofisticadas técnicas de monitoreo. CCUS es una tecnología que permite lograr una reducción significativa de las emisiones de ${\rm CO_2}$ provenientes del uso de combustibles fósiles, no solo las producidas en la generación de electricidad, sino también en diferentes ramas industriales como la siderúrgica, refinería, petroquímica y cementera, entre otras.

De acuerdo con los modelos de la AIE, CCUS puede contribuir con el 12% de la reducción de las emisiones acumulativas necesarias para alcanzar en el año 2050 la meta global de incremento de temperatura de 2 °C; es decir, que CCUS contribuiría con la mitigación de 6 billones de toneladas de $\rm CO_2$ por año para dicha fecha [1].

A pesar de ello, el potencial de esta tecnología no ha sido aprovechado al máximo y ha presentado dificultades para ser reconocida como una

herramienta útil de mitigación, aun con el apoyo que han dado los gobiernos para ser desarrollada.

En la próxima década, CCUS aplicada a la generación de electricidad pudiera ser costo-competitiva con otras tecnologías limpias que aportan energía limpia a la red y una oportunidad de mercado, al ser aplicada en procesos de recuperación mejorada de aceite (EOR-CO₂).

Hasta el momento, todos los proyectos de CCS (captura y almacenamiento geológico de CO_2) y CCUS (captura, uso y almacenamiento de CO_2) han aportado experiencias valiosas en la operación de sistemas de captura a gran escala, el manejo de grandes volúmenes de CO_2 inyectado en el subsuelo, así como el monitoreo de su comportamiento en el subsuelo para asegurar su confinamiento permanente.

APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA [2]



Sectores Industriales

En muchos sectores industriales, la reducción profunda de emisiones es posible sólo a través de CCS, siendo los principales objetivos la industria siderúrgica, del cemento, químicos, fertilizantes, hidrógeno y refinerías.

Casos de éxito: Proyecto de CCS de Shell Quest, Alberta, Canadá. Primer proyecto en reducir emisiones del proceso de arenas bituminosas. El primer proyecto a gran escala en el sector siderúrgico se encuentra en Abu Dhabi, en los Emiratos Árabes Unidos.



Procesamiento de Gas Natural

El exceso de CO2 en los flujos de gas natural debe ser separado del gas antes de que éste sea vendido. Este CO2 puede ser almacenado o utilizado en vez de venteado. Casos de éxito: El Proyecto de Gorgon, Australia, se convertirá en el proyecto de almacenamiento más grande del mundo con 3 millones de toneladas (Mton) de CO2 almacenadas por año.



Plantas de Generación de Gas Natural

En regiones donde los precios del gas son bajos, como Estados Unidos, CCS aplicado a plantas de gas natural puede resultar más favorable que para las carboeléctricas. México está apostando a este sector de acuerdo con su plan estratégico nacional para promover el uso de combustibles como el gas natural en la generación eléctrica.



Carboeléctricas

Las cuestiones relacionadas con el costo de los combustibles en el sector eléctrico son factores clave, por ello CCS resulta especialmente atractivo en el mercado asiático.

Casos de éxito: Proyecto Integral de CCS Boundary Dam, en la carboeléctrica de Saskpower, Canadá. Primera plata de CCS a escala comercial.



CCS con bioenergía (BECCS)

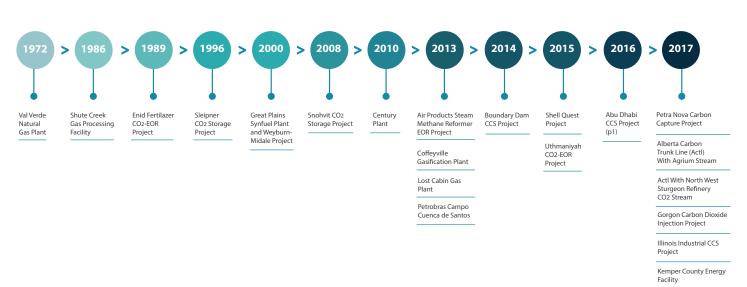
Esta combinación ofrece una eliminación neta permanente de CO2 de la atmósfera o "emisiones negativas" mediante el uso de biomasa y la captura y almacenamiento del carbono generado durante su combustión. Los primeros proyectos sobre la producción de biocombustibles ya se encuentran en desarrollo.



Recuperación Mejorada de Aceite Con CO2 (CO2-EOR)

EOR ha sido un impulsor importante de muchos proyectos de CCS, en particular en Norteamérica y Medio Oriente. Para lograrlo, es necesaria la implementación de medidas de monitoreo y verificación de la permanencia del CO2 en el subsuelo.

El portafolio global de proyectos de CCS/CCUS continúa expandiéndose y diversificándose. Existen actualmente 15 proyectos en operación y 7 más en vísperas de operar durante 2017-2018 [3].





- 1.- Val Verde Natural Gas Plants
- 2.- Enid Fertilazer CO2-EOR Project
- 3.- Shute Creek Gas Processing Facility
- 4.- Sleipner CO₂ Storage Project
- 5.- Great Plains Synfuel Plant and Weyburn Midale Project
- 6.- Snohvit CO2 Storage Project
- 7.- Century Plant
- 8.- Air Products Steam Methane Reformer EOR Project
- 9.- Coffeville Gasification Plant
- 10.- Lost Cabin Gas Plant
- 11.- Petrobras Campo Cuenca de Santos

- 12.- Boundary Dam CCS Project
- 13.- Shell Quest Project
- 14.- Uthmaniyah CO2-EOR Project
- 15.- Abu Dhabi CCS Project (Phase 1)
- 16.- Petra Nova Carbon Capture Project
- 17.- Alberta Carbon Trunk Line with Agrium Stream
- 18.- Actl with North West Sturgeon Refinery CO2 Stream
- 19.- Gorgon Carbon Dioxide Injection Project
- 20.- Illinois Industrial CCS Project
- 21.- Kemper County Energy Facility
- 22.- Yangchang Integrated CCS Demonstration Project

Yangchang Integrated

¿Por qué CCUS?

Tomando en cuenta que la economía moderna se ha construido sobre los sistemas de energía fósil, que al menos en lo que resta de la primera mitad de este siglo todavía serán importantes para nuestra prosperidad, la continuación en el uso de estos combustibles dependerá de la capacidad de las tecnologías para reducir y capturar las respectivas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en combinación con otras tecnologías que nos permitan generar energía y contar con procesos industriales más limpios. La estrategia debe ser integral y atendida desde varios frentes.

La Quinta Evaluación del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) señala que las metas de mitigación planteadas a nivel global no podrán cumplirse sin la participación de la tecnología de CCUS destacando que el costo de la mitigación se incrementaría en 138%. Por su parte, la AIE ha indicado que para alcanzar el escenario de los 2°C en 2040, se requiere capturar y almacenar por lo menos 4,000 millones de toneladas al año de CO₂ [4].

Para lograr la reducción de emisiones comprometidas, será necesario el despliegue de CCUS de manera que, junto con el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética, sean atendidas las necesidades energéticas y del sector industrial.

El Acuerdo de París, aprobado en la COP21 en 2015, está enfocado en las acciones para la mitigación del cambio climático después del 2020 y representa un claro e indudable compromiso de los líderes políticos para transitar a una economía baja en carbono.

Los compromisos a nivel global proporcionan una clara dirección y ritmo

que deben ser considerados para alcanzar las metas de mitigación, sin embargo, se requiere de grandes inversiones estratégicas de los sectores público y privado para llevar esta tecnología al mercado.

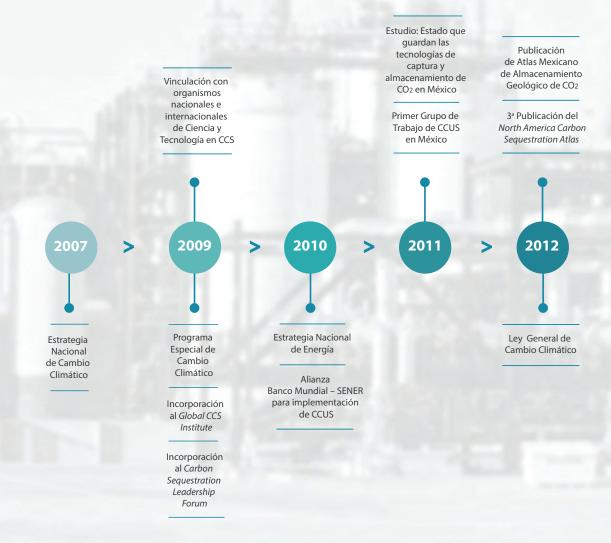
Con el objetivo de que la tecnología de CCUS logre contribuir al cumplimiento de las metas planeadas en el escenario de los 2°C, de acuerdo con la AIE se estima que la inversión deberá ser diez veces mayor a la actual [5]. Es necesario identificar los sectores donde CCS /CCUS juega un papel preponderante y represente una oportunidad costo efectiva de mercado que incentive las inversiones público-privadas, creando una industria baja en emisiones.

En el caso de México, en 2013, la generación de electricidad contribuyó con el 19% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero, en tanto que el sector del petróleo y el gas aportaron el 12% y el sector industrial un 17% [6]. Las emisiones totales de ${\rm CO}_2$ en México, derivadas del uso y quema de combustibles fósiles, representan el 1.37% de las emisiones globales, colocándonos en el 13° lugar a nivel internacional.

En 2016, el 20.31% de la electricidad en el país fue generada a partir de fuentes limpias equivalente a 21,179 MW, es decir el 28.81% de la capacidad instalada total [7], representando un avance significativo para la meta establecida de energías limpias al 2024 a nivel nacional. Lo anterior, representa una oportunidad para la implementación de la tecnología CCUS, que permita la diversificación de la matriz energética y la descarbonización de la generación de energía a partir de combustibles fósiles, así como la creación de valor a lo largo del sector energético, contribuyendo al mismo tiempo a la reducción de GEI, el desarrollo e innovación tecnológica.

CCS /CCUS es una tecnología probada y disponible a nivel comercial.

LA RUTA CRÍTICA DE CCUS EN MÉXICO



Sitios de Almacenamiento de CO₂ en México Adecuación del Marco regulatorio en CCS/CCUS Incorporación de México al ISO TC-265 FASE 1, Colaboración Estrategia Nacional Banco Mundial en CCUS: de CCUS Programas de intercambio Análisis del marco académico en CCUS Estrategia CCS-Ready regulatorio en CCUS en México Publicación del Mapa Creación del Centro de Ruta Tecnológica Norma Mexicana de Transición de EOR a Mexicano de CCUS de CCUS en México **CCUS** almacenamiento geológico permanente de CO₂ Selección de Programa de Maestría en CCUS UNAM - Berkeley Prefactibilidad para la sitios para los planta piloto de captura proyectos pilotos en de CO₂ México Programa Especializado de Capacitación en CCUS REFORMA **ENERGÉTICA** Comunicación y difusión de la tecnología entre la industria, gobierno y sociedad 2013 2014 2015 2016 Estrategia Presentación Entrada en Estrategia Nacional Nacional de Cambio vigor del Registro de las contribuciones de Transición para Climático, visión Nacional de nacionalmente Promover el Uso de 10-20-40 **Emisiones** determinadas (INDCs) Tecnologías y 2020-2030 Combustibles más Limpios Aprobación de Ley de la Industria Impuesto al Carbono Publicación de la Ley Eléctrica, para Combustibles Incorporación al reconocimiento de de Transición Mission Innovation Fósiles captura y Energética

almacenamiento de carbono como Energía Limpia Challenge #3

Incorporación al Oil and Gas Climate Initiative Inventario de Fuentes Fijas de Emisiones y

LA RUTA CRÍTICA DE CCUS EN MÉXICO

Respecto a la generación de energía a partir de combustibles fósiles en México, el gas natural predomina sobre el carbón, combustóleo, diésel o coque [8] por lo que CCUS tiene un importante potencial para la reducción de emisiones en este sector. De acuerdo con las recomendaciones de la AIE y las mejores prácticas internacionales, se ha considerado la importancia e impacto de la aplicación de la tecnología de CCUS para lograr una exitosa transición energética, asegurando el abasto energético y alineado al cumplimiento de las metas de reducción de gases de efecto invernadero.

De esta manera, iniciaron hace 10 años las primeras acciones para incorporar dicha tecnología a la matriz energética nacional:

Entre 2008 y 2009, México se integró como miembro del *Global CCS Institute* (GCCSI) y el *Carbon Sequestration Leadership Forum* (CSLF); además México reconoció a CCUS como una de las medidas de mitigación del cambio climático, en foros tales como la Declaración de los Líderes de América del Norte sobre Cambio Climático y Energía Limpia (agosto 2009) y en las reuniones Ministeriales de Energía Limpia (desde 2010).

En febrero de 2010, es publicada la Estrategia Nacional de Energía (ENE) [9] con el propósito de coordinar a los principales actores del sector, y definir cómo enfrentar los retos que implicaban los grandes cambios a nivel global y nacional en materia de energía,



uno de los tres ejes de la ENE resalta la sustentabilidad ambiental a través del ahorro en el consumo final de energía, el aprovechamiento del gas natural y la generación eléctrica con tecnologías limpias [10].

En 2011, con el propósito de profundizar sobre la tecnología de CCUS, se realizó el estudio denominado "Estado que guardan las tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono en México" [8], el cual determinó que debido al alto potencial de uso del CO₂ aplicado a la recuperación de campos maduros de aceite, México debía apostar no solo al almacenamiento (referido como CCS) sino incluir su uso, adoptando las siglas en inglés CCUS: *Carbon Capture*, *Use and Storage*.

Para 2012, se publica el Atlas Mexicano de Almacenamiento Geológico de CO₂ [11] cuyo contenido forma parte de un proyecto trilateral en el North American Carbon Sequestration Atlas (NACSA) [12]. Ese mismo año, entra en vigor la Ley General de Cambio Climático (LGCC) que representa un hito en la política ambiental de México y promueve la creación del Fondo Climático, la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático [13]; así mismo establece la definición de acciones concurrentes en materia de cambio climático: promover la investigación, transferencia tecnológica e innovación en la materia y facilitar la transición hacia una economía competitiva y sostenible baja en emisiones de carbono; esta Ley pone a México como el primer país en vías de desarrollo como líder en políticas contra el cambio climático.

Durante 2013, un grupo de trabajo integrado por la Secretaría de Energía (SENER), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Petróleos Mexicanos (PEMEX), la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el Centro Mario Molina (CMM), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), desarrollaron un Mapa de Ruta que es una propuesta estratégica para la implementación y desarrollo de la tecnología de CCUS en el país, desde su incubación hasta la escala comercial. En noviembre de ese mismo año es aprobado el Impuesto al Carbono, y en diciembre entra en vigor la Reforma Energética, cuyos objetivos fundamentales son el impulsar al desarrollo con responsabilidad social, protegiendo al medio ambiente, asegurar el abasto energético y la restitución de reservas probadas, la cual da un giro histórico al sector energético en el país.

El Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS (MRT-CCUS) en México es publicado en marzo de **2014** [14] y representa un mecanismo de planeación que ha permitido encaminar el desarrollo de esta tecnología en el país.

En el mismo año, entra en vigor el Registro Nacional de Emisiones el cual determina que todas las empresas del sector energía, industria, transporte, agropecuario, residuos, comercio y servicios que generen emisiones de GEI por arriba de las 25,000 tCO₂e están obligadas a

presentar un reporte anual [15]. Otro elemento de gran importancia es la Ley de la Industria Eléctrica [16] donde por primera vez se describe a la tecnología de "captura y almacenamiento geológico o biosecuestro de bióxido de carbono" como una Energía Limpia, con el mismo rango que las renovables o la energía nuclear.

Con el MRT-CCUS en marcha, y bajo el liderazgo de SENER, importantes acciones fueron desplegadas, fortaleciendo el compromiso y colaboración entre el Gobierno y el sector energético mexicano. Al mismo tiempo organismos internacionales como el Banco Mundial, el GCCSI, el CSLF y APEC se sumaron al esfuerzo de México por impulsar esta tecnología, a través de talleres, asesorías técnicas y distintos programas de colaboración.

CCUS pasó de ser una propuesta tecnológica para convertirse en un proyecto en desarrollo.

2015 se convirtió en un parteaguas en materia de cambio climático a nivel mundial gracias al Acuerdo de París. En marzo de ese año, fueron presentadas las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (INDCs) donde más de cinco países, entre ellos México, incluyeron la tecnología de CCS. Al mismo tiempo, en el marco de la colaboración con el Banco Mundial, se desarrollaron tres estudios clave los cuales buscaron establecer los puntos de partida para la detonación de CCUS en materia de regulación, combinación de proyectos de recuperación mejorada de petróleo con almacenamiento permanente de CO₂, así como las características del primer proyecto piloto de captura de CO₂ en México. A finales de este año, entró en vigor la Ley de Transición Energética [17] con el objetivo de regular el aprovechamiento sustentable de la energía y las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de contaminantes provenientes de la Industria Eléctrica.

En 2016, grandes cambios en la estructura de las instituciones mexicanas significaron un reto importante, a pesar del cual se establecieron actividades clave que abrieron paso a una nueva etapa en la implementación de CCUS en el país enfocadas principalmente en la realización de proyectos, el desarrollo de capacidades y la creación de programas para enriquecer y fortalecer a las instituciones mexicanas con una constante transformación y mejora donde la innovación tecnológica es un factor determinante.



Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México

(MRT-CCUS)

La ruta crítica planteada en el MRT-CCUS constituye una base sistemática y ordenada para la gestión de los recursos que permiten la asimilación de la tecnología en el país; al mismo tiempo, busca promover incentivos económicos y regulatorios, que faciliten el flujo de recursos y apoyos internacionales, participación del sector público y privado. Además tiene como objetivo particular, la articulación de actividades de investigación, innovación tecnológica, programas académicos y productividad en todos los temas que componen la cadena de CCS/CCUS.

Grupo de trabajo

SENER y SEMARNAT han liderado el grupo de trabajo de CCUS en México, en cuyos orígenes en 2013, estuvo integrado por PEMEX, CFE, Centro Mario Molina, UNAM e IPN, y que ha evolucionado hasta formar un comité con 19 organismos de investigación, academia, gobierno e industria, líderes en distintas ramas y áreas de conocimiento relacionados con CCUS.

Los objetivos de la creación de este grupo son:

- Integrar a los principales actores del país en materia de CCUS;
- Identificar las fortalezas y debilidades en materia de CCUS en el contexto global y nacional;
- Presentar propuestas que permitan impulsar la investigación, innovación tecnológica y desarrollo de proyectos de CCUS en México; y
- Tener representación en los grupos de CCUS a nivel internacional y promover la tecnología en el país.

Organización

De acuerdo con los temas de su competencia, intereses y experiencia, los miembros se dividen en dos grupos: técnico y de políticas. Cada uno de estos grupos propone y promueve la investigación y desarrollo de las áreas del conocimiento y temas que permitan impulsar el desarrollo de CCUS en el país. Algunas de ellas son:

| | ÁREAS | TEMAS |
|-----------------------|--|--|
| Grupo Técnico | • Captura y Transporte | Fuentes de emisión: generación de energía y procesos industriales Tecnologías de captura Separación del CO2 y subproductos Transporte del CO2 Proyectos pilotos a comerciales |
| | Almacenamiento Monitoreo | Almacenamiento geológico de CO2 en acuíferos salinos profundos Almacenamiento geológico de CO2 en campos exhaustos de hidrocarburos Recuperación Mejorada de Hidrocarburos con CO2 Otros usos del CO2 Proyectos de pilotos a comerciales Monitoreo profundo, somero y atmosférico |
| Grupo de Políticas | PolíticasRegulaciónAcademiaSociedad | Normatividad y Regulación Comunicación e involucramiento con la sociedad Impacto Ambiental y Social Programas y vinculación académica |

Alcances del MRT-CCUS

A tres años de la puesta en marcha del MRT-CCUS contamos con una amplia gama de actividades enfocadas en la promoción de la tecnología, desarrollo de capacidades y avances para el desarrollo de los proyectos piloto.

Actividades realizadas, en marcha y próximos pasos para la implementación de CCUS en México:

| ACTIVIDADES REALIZADAS Y EN MARCHA | ACTIVIDADES PRÓXIMAS |
|---|---|
| Vinculación con organismos internacionales de Ciencia y Tecnología en CCS (de 2009 a la fecha) | Creación del Centro Mexicano de CCS (2017-2018) |
| Inventario de Fuentes Fijas de Emisiones y Sitios de Almacenamiento de CO2 (de 2015 a la fecha) | Incorporación al Grupo de Trabajo que desarrolla la Norma ISO TC-265 de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) |
| Selección de los sitios para los proyectos piloto de CCUS en México (2014) | Construcción de una planta piloto de captura de CO2 en una central de ciclo combinado de gas natural de Poza Rica (2018-2021) |
| Estimación de la capacidad de almacenamiento de CO ₂ en formaciones salinas profundas (de 2010 a la fecha) | Desarrollo del proyecto piloto de CCUS en el sureste de México (inicio 2018) |
| Estrategia de CO2-EOR en México realizada por PEMEX (2014-2015) | Análisis para la aplicación de CCUS en procesos industriales (2017) |
| Plan de captura de CO2 en termoeléctricas (2014 a la fecha) | Programas de intercambio académico en CCS/CCUS (inicio 2017) |
| Estrategia Nacional de CCUS (2015 a la fecha) | Estrategia CCS-Ready (2018) |
| Programa de Maestría en CCUS Berkeley –UNAM (2015-2020) | Adecuación y creación de regulaciones y políticas para los proyectos de CCS/CCUS (2017) |

Programa Especializado de Capacitación en CCUS para la industria (iniciado en 2016)

Programas de comunicación y difusión de la tecnología entre la industria, gobierno y la sociedad



COLABORACIÓN INTERNACIONAL





Global CCS Institute

El Global CCS Institute es una organización internacional cuya misión es acelerar el desarrollo, demostración y despliegue de la tecnología de CCS como un mecanismo clave para la mitigación del cambio climático y asegurar el abasto energético. Los principales miembros son gobiernos, corporaciones internacionales, compañías, organismos de investigación y organismos no gubernamentales.

México ha mantenido una estrecha relación con el GCCSI por más de 7 años y ha recibido apoyo de dicha institución para llevar a cabo talleres, programas de capacitación, programas de divulgación de la tecnología, así como asistencia técnica especializada.

Carbon Sequestration Leadership Forum

El CSFL es una iniciativa internacional contra el cambio climático a nivel ministerial enfocada en el desarrollo de tecnologías mejoradas y rentables para CCS. Tiene como misión, facilitar el desarrollo y despliegue de tecnologías de CCS a través de esfuerzos colaborativos que abordan los principales obstáculos técnicos, económicos y ambientales. Cuenta con 26 países miembros, entre los cuales se encuentra México, 18 de los cuales forman parte de Mission Innovation (iniciativa global para acelerar la innovación en energías limpias). Cuenta con un Fondo enfocado en el apoyo a los países miembro para el desarrollo de capacidades, a través del cual nuestro país ha recibido apoyo para la realización de un intercambio académico-profesional sobre almacenamiento en acuíferos salinos profundos en la Universidad de Adelaide y el proyecto Otway, en Australia, así como el financiamiento de los talleres del Programa Especializado de Capacitación en CCUS.





Banco Mundial

En 2010, el Banco Mundial (BM) presentó la Alianza Estratégica con México diseñada para entregar soluciones reales a los principales desafíos para el desarrollo del país. Entre los temas de enfoque del BM se consideran los servicios financieros, técnicos y de coordinación e intercambio de conocimiento, todos ellos enfocados en proveer soluciones para el desarrollo del país.

El proyecto de CCUS en México es apoyado por el Fideicomiso de CCS administrado por BM (CCS Trust Fund). Como parte de una primera fase del proyecto se buscó promover la tecnología mediante estudios y evaluaciones en materia de regulación de CCUS, captura y uso del CO₂, así como también el fortalecimiento institucional. El objetivo de estas actividades es lograr que esta tecnología se convierta en una herramienta para contribuir al logro de las metas nacionales en materia de reducción de gases de efecto invernadero.

Durante 2015, gracias al donativo de Reino Unido, Noruega y Australia, a través del CCS Trust Fund del Banco Mundial, fueron realizados tres estudios clave para determinar el potencial de CCS en México:

- 1) Análisis del Marco Regulatorio de CCS en México [18]
- 2) Estudio de prefactibilidad para una planta piloto de captura de CO₂ [19]
- 3) Combinación de proyectos de EOR-CO₂ y almacenamiento permanente de carbono (CCUS) [20]

A partir de 2016, se ha trabajado en los procedimientos y evaluaciones necesarias para la puesta en marcha de la segunda fase de las actividades de colaboración, que incluyen el desarrollo de capacidades, la construcción y puesta en marcha de los proyectos piloto de captura de CO₂ y el proyecto de EOR-CO₂ y almacenamiento permanente de carbono (CCUS), adecuación del marco regulatorio para CCUS en México, entre otras actividades.





Misión Innovación (MI)

Es una iniciativa global fundada por 20 países, entre ellos México y fue dada a conocer durante la COP21 realizada en 2015 en París, la cual tiene por objeto duplicar la inversión en investigación y desarrollo para acelerar la innovación en energías limpias en los próximos cinco años.

A la fecha, 22 países conforman esta Iniciativa además de la incorporación de la Unión Europea, en la cual para el 2021, el compromiso es pasar de 15 billones de dólares a 30 billones de dólares.

Durante la COP22 realizada en Marruecos a finales de 2016, MI anunció los siete retos tecnológicos en los que los países enfocarán sus esfuerzos de colaboración siendo el reto #3 el enfocado a CCS del cual México forma parte.

Oil and Gas Climate Initiative (OGCI)

En 2015, en preparación para la COP21, las compañías de petróleo y gas más importantes del mundo lanzaron la iniciativa denominada *Oil and Gas Climate Initiative* (OGCI, por sus siglas en inglés), con el fin de contribuir a reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero. La Iniciativa está integrada por 10 empresas: BP, CNPC, Eni, PEMEX, Reliance, Repsol, Saudi Aramco, Shell, Statoil y Total.

La OGCI se ha comprometido a realizar inversiones por un billón de dólares durante los próximos 10 años como señal de la importancia de la innovación para enfrentar uno de los retos más grandes de la humanidad, particularmente debido al rol que juega la tecnología para transformar los esquemas convencionales de dicha industria en otros sustentables. Entre las áreas de esta inversión se considera CCUS.

DESARROLLO DE CAPACIDADES

Desde 2012, se realizaron una serie de talleres apoyados por el *Asia Pacific Economic Cooperation* (APEC) y en colaboración con el *Global CCS Institute*. Los primeros talleres tuvieron como propósito dar a conocer la tecnología a estudiantes y profesionales de carreras afines a CCS, así como entidades de gobierno e institutos; éstos fueron evolucionando en ponencias más específicas donde se explicaban a detalle los principios técnicos de la tecnología, así como las acciones globales y nacionales encaminadas en el desarrollo de ésta, y las experiencias aprendidas de los proyectos que fueron puestos en marcha en los últimos años.

Así mismo, se ha creado un programa de maestría con especialización en CCUS, el cual ha sido incorporado a las maestrías en Ingeniería y Geociencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dicho programa será implementado a partir de agosto de 2017 y está a cargo del *Berkeley Energy and Climate Institute* (BECI) de la Universidad de California. El objetivo de este programa es incrementar el número de especialistas en la materia y formar a los líderes de los próximos proyectos en el país.

Así mismo, se estableció el Programa Especializado de Capacitación en CCUS, dirigido a estudiantes, investigadores y profesionales de áreas afines a esta tecnología, el cual contempla actividades como talleres, intercambios, webinars, entre otros, que se realizan gracias al apoyo del Gobierno de México a través de los Fondos Sectoriales CONACYT - SENER, el Banco Mundial, el CSLF y el GCCSI.

CENTRO MEXICANO DE CCUS

El Centro Mexicano de CCUS (CEMCCUS) formará parte de la iniciativa para la conformación de centros especializados enfocados en atender las necesidades de desarrollo tecnológico del país y estará alineado a las políticas públicas y compromisos de México en materia de energía, buscando abatir las barreras que enfrenta el país para el aprovechamiento sustentable de la energía e implementar el uso de la tecnología de CCUS como una actividad clave para la transición energética. Para ello, se pretende que se integren redes o alianzas estratégicas para: la formación de capacidades y recursos humanos; la vinculación y expansión del tejido científico-tecnológico-empresarial; y la visión, estrategia y prospectiva de la energía y medioambiente en México.

El CEMCCUS se encargará de proponer y desarrollar actividades estratégicas de investigación e innovación tecnológica en los temas de captura y transporte de CO₂, almacenamiento geológico de CO₂, usos del CO₂, así como también en temas relacionados con el monitoreo, regulación, comunicación y divulgación, comercialización y negocios. Incluirá el desarrollo de capacidades y el desarrollo de los dos primeros proyectos piloto de CCUS en el país.

PROYECTOS PILOTO

La estrategia para la implementación de CCS en México, contempla la realización de dos proyectos piloto:

PROYECTO PILOTO DE CAPTURA DE CO₂ EN LA CENTRAL DE CICLO COMBINADO DE GAS NATURAL DE POZA RICA [19]

En 2015, la CFE junto con SENER y el Banco Mundial, seleccionó la Central Termoeléctrica de Poza Rica, una central de ciclo combinado de gas natural, para la implementación del primer proyecto de captura de CO₂ en México, mismo que será realizado en colaboración con el Banco Mundial. El objetivo de este proyecto es determinar la eficiencia de los sistemas de captura post-combustión a base de aminas para su aplicación en proyectos de mayor escala, así como obtener información respecto al potencial y características técnicoeconómicas y ambientales de la aplicación de CCS en sistemas que funcionen a base de gas natural. Esto podrá lograrse mediante una planta genérica con flexibilidad para probar varias tipos de solventes para la captura de CO2 contenido en los gases de combustión de una de las unidades de la central, siendo el primer proyecto de su tipo en el mundo fuera del Centro de Tecnología de Mongstad (TCM, por sus siglas en inglés) en Noruega. Se planea que la construcción del proyecto inicie en 2018.

PROYECTO PILOTO DE ALMACENAMIENTO PERMANENTE DE ${\rm CO_2}$ MEDIANTE LA RECUPERACIÓN MEJORADA DE ACEITE EN EL ACTIVO CINCO PRESIDENTES [20]

Durante 2014 y 2015, PEMEX realizó un análisis de los campos candidatos para la aplicación de procesos de recuperación mejorada con CO_2 (EOR- CO_2), de los cuales eligió al Campo Brillante del Activo Cinco Presidentes para llevar a cabo el primer proyecto piloto de CCUS. El objetivo de este proyecto es conocer la respuesta de los campos en el sureste de México ante el estímulo con CO_2 para incrementar la producción de aceite al mismo tiempo que dicho gas es almacenado de manera permanente en el subsuelo contribuyendo a la reducción de CO_2 . El CO_2 será proveído por la planta petroquímica de Cosoleacaque donde se obtiene como subproducto, por lo cual no requiere de sistemas de captura y separación; será transportado hasta el campo ubicado a 70 km de distancia. Durante la vida del proyecto serán inyectadas 34 MMMPC de CO_2 .

POLÍTICA PÚBLICA

Durante los últimos 10 años, el Gobierno de México y distintas entidades de ciencia, tecnología y academia, han sumado esfuerzos para definir aquellas acciones y proyectos que provean de una solución factible para alcanzar las metas de reducción de GEI comprometidas a nivel internacional

La iniciativa de incorporación de CCUS, representa un avance en el futuro de la energía en México y la oportunidad de desarrollar nuevas áreas de conocimiento, experiencia y negocios en nuestro país, donde los sectores público y privado puedan desarrollar proyectos integrales en colaboración con centros de investigación y academia, nacionales e internacionales.

Se ha considerado la necesidad de contar con regulaciones y normatividad adecuadas para vigilar las operaciones de CCUS y garantizar su correcto desempeño, así como proveer de certeza a la población respecto a la permanencia y comportamiento del CO₂ en el subsuelo. Se busca también, informar y educar sobre la importancia de la energía en la vida cotidiana, los efectos y consecuencias del cambio climático y los proyectos que se encuentran en desarrollo en materia de Energías Limpias, incluido CCUS. Para ello, se han destinado recursos de los fondos federales y provenientes de las propias entidades implementadoras, tales como CFE y PEMEX, centros de investigación y universidades.

El apoyo de organismos internacionales ha impulsado de manera importante el desarrollo de la tecnología de CCUS, donde cabe resaltar la colaboración con el Banco Mundial y otros organismos internacionales, así como los grupos de trabajo multilaterales con gobiernos de distintos países.

Hasta el momento, las inversiones para el desarrollo de esta tecnología en el país han sido de alrededor de 160 Millones de pesos y se espera una inversión de aproximadamente 1,500 Millones de pesos en los próximos 4 años para el desarrollo de proyectos piloto, investigación y desarrollo de capacidades, entre otras actividades relevantes.

Sin duda, existen grandes retos en el camino a la transición energética. México ha demostrado su liderazgo y compromiso en materia energética y ambiental, reiterando su compromiso a nivel global. Durante los últimos 10 años, se ha fortalecido e impulsado el desarrollo de la tecnología de CCUS como una alternativa para la descarbonización profunda de la industria fósil en el país.

El papel de CCUS en el futuro de la energía representa una oportunidad para el desarrollo tecnológico, una industria baja en carbono y amigable con el ambiente, así como la oportunidad para que otras tecnologías limpias, como las renovables y la nuclear, se fortalezcan, asegurando el abasto energético y la sostenibilidad de los sectores industrial y energético.



REFERENCIAS

- [1] International Energy Agency. (2016). Energy Technology Perspectives 2016: Towards Sustainable Urban Energy Systems. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnologyPerspectives2016_ExecutiveSummary_EnglishVersion.pdf
- [2] International Energy Agency. (2015). Carbon Capture and Storage: The solution for deep emissions reductions. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/onCaptureandStorageThesolutionfordeepemissionsreductions.pdf
- [3] Global CCS Institute. (2016). The Global Status of CCS: 2016. Summary Report, Australia. https://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/201158/global-status-ccs-2016-summary-report.pdf
- [4] Denhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., & Minx, J. (2014). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_frontmatter.pdf
- [5] Energy Technology Prospectives. International Energy Agency, (2017).
- [6] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2013). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. http://www.gob.mx/inecc/ acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero
- [7] Secretaría de Energía. Sistema de Información Energética. http://sie.energia.gob.mx/
- [8] Secretaría de Energía. (2011). Estado que guardan las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono y su aplicación en México. http://co2.energia.gob.mx/res/Estado%20 que%20guardan%20las%20tecnologias%20de%20Captura%20 y%20Almacenamiento%20de%20Carbono%20y%20su%20 aplicacion%20en%20Mexico.pdf
- [9] Secretaría de Energía. (2014). Estrategia Nacional de Energía 2014-2028. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/214/ENE.pdf
- **[10]** Secretaría de Energía. (2012). Atlas de Almacenamiento Geológico de CO₂ de México. http://www.gob.mx/sener/articulos/atlas-de-almacenamiento-geologico-de-co2-mexico

- [11] Secretaría de Energía. (2012). North American Carbon Sequestration Atlas. http://www.gob.mx/sener/articulos/the-north-american-carbon-storage-atlas
- [12] Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos. (2012). Ley General de Cambio Climático. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_010616.pdf
- [13] Secretaría de Energía. (2014). Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS de México. http://www.gob.mx/sener/documentos/mapa-de-ruta-tecnologica-ccus
- [14] Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos. (2014). Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones. http://dof.gob.mx/nota detalle.php?codigo=5365828&fecha=28/10/2014
- [15] Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos. (2014). Ley de la Industria Eléctrica. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014
- [16] Diario Oficial de la Federación, Estados Unidos Mexicanos.
 (2015). Ley de Transición Energética. http://dof.gob.mx/nota_to_doc.php?codnota=5421295
- [17] SEMARNAT. (2015). Compromisos de Mitigación y Adaptación ante el Cambio Climático para el Periodo 2020-2030, Instrumentación. México. http://www.gob.mx/semarnat/articulos/compromisos-de-mitigacion-y-adaptacion-2020-2030
- [18] Milieu Ltd. (2016). Development of a Regulatory Framework for Carbon Capture, Utilization and Storage in Mexico. World Bank. https://www.gob.mx/sener/documentos/development-of-a-regulatory-framework-for-carbon-capture-utilization-and-storage-in-mexico
- [19] Nexant, Inc. (2016). Pre-Feasibility Study for Establishing a Carbon Capture Pilot Plant in Mexico. World Bank. https://www.gob.mx/sener/documentos/pre-feasibility-study-forestablishing-a-carbon-capture-pilot-plant-in-mexico
- [20] Battelle Memorial Institute. (2016). Combining CO₂ Enhanced Oil Recovery with Permanent Storage in Mexico. World Bank. https://www.gob.mx/sener/documentos/combining-co2-enhanced-oil-recovery-with-permanent-storage-in-mexico

Sitios de consulta:

Global CCS Institute: https://www.globalccsinstitute.com/

Carbon Sequestration Leadership Forum: https://www.cslforum.org/cslf/

World Bank: http://www.worldbank.org/

Mission Innovation: http://mission-innovation.net/

 $\begin{tabular}{ll} \textbf{Oil \& Gas Climate Initiative:} & \textbf{http://www.oilandgasclimate initiative.} \\ \textbf{com/} \end{tabular}$