

Proyectos CCS en el sector energético: desafíos y oportunidades

Ruth Nataly Echevarria Huaman



Master en Ingeniería del Medioambiente [Beijing Jiatong University en R. P. China]. Bachelor Degree en Ingeniería Química [Universidad Nacional de Ingeniería de Perú]. Shanghai [Shanghai], China. <natafier@hotmail.com>.

Resumen

Actualmente el planeta y la humanidad están bajo seria amenaza debido al calentamiento global, éste va sujeto al actual modelo energético global dependiente del petróleo, carbón y gas, la quema de éstos combustibles fósiles libera dióxido de carbono a la atmósfera, responsable principal del calentamiento. El cambio climático es una seria amenaza, sus impactos ya son visibles, en consecuencia existe una urgente necesidad de reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero en las próximas décadas para prevenir efectos socio-económicos catastróficos. El desarrollo de tecnologías de bajo Carbono es vital componente en la reducción de éstas emisiones en el futuro. La "Captura y Secuestro de Carbono" (CCS, acrónimo de Carbon Capture and Storage), es una de los tres principales caminos junto con la eficiencia y conservación energética y el uso de fuentes sin carbono como las renovables y la nuclear. El CCS un sistema para atrapar el CO₂ de la quema de los combustibles fósiles y almacenarlo bajo el mar o en formaciones geológicas de manera segura; el CCS ha pasado a formar parte de una iniciativa de investigación y desarrollo promovida por algunos gobiernos e industrias a nivel mundial. En este trabajo se discute el papel que jugará el CCS en el sector energético, su actual actividad Global así se analizan los LSIPs (Proyectos Integrados a Gran Escala), también se realiza un análisis FODA. Además consideramos la inclusión del CCS como MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio), la actual tendencia mundial de responsabilidad ambiental hacia un planeta bajo en carbono representa una oportunidad única para países en desarrollo al implementar acciones que aumentan la competitividad de éstos y reducir al mismo tiempo las emisiones de GEI.

Palabras clave

Emisiones de CO₂, mecanismos de desarrollo limpio, generación de energía con combustibles fósiles, captura del CO₂, proyectos integrados a larga escala.

CCS Projects in the Energy Sector: challenges and opportunities

Abstract

It is now recognized that this planet and the humanity are under serious threat of global warming, In the global fight against climate change, the development of low-carbon technology is a vital component to reduce future carbon emissions. Global energy model dependent on oil, coal and gas, the burning of these fossil fuels releases carbon dioxide, the main responsible of this warming. Climate change is a serious threat, its impacts are already visible, and there is an urgent task to reduce greenhouse gas emissions in the coming decades to prevent serious economic and social impacts. The "Carbon Capture and Sequestration" (CCS), is one of the three major pathways for reducing atmospheric concentration of CO₂, the other two pathways are Lowering intensities through improved efficiency and conservation, and Switching to low or no carbon fuels, such as renewable or nuclear. The CCS technology to sequester or stores the CO₂, from the burning of fossil fuels, in secure reservoirs other than the atmosphere, such as the oceans, under geological formations. It has become part of a research and development initiative promoted by some Governments and industries around the world. This paper provides an overview of the role that will play the CCS in the energy sector, we discuss about the current Global activity, the LSIPs (integrated large-scale projects), and their SWOT analysis. In addition we consider the inclusion as CDM (clean development mechanism), this global trend of environmental responsibility represents a unique opportunity for developing countries to implement actions that increase the competitiveness of them, and at the same time reduce greenhouse gas emissions.

Keywords

CO₂ emissions, clean development mechanisms, fossil fuel power generation, CO₂ capture, integrated large scale projects.

1. Introducción

En los últimos años, la creciente preocupación por los enormes impactos negativos ocasionados por la generación y consumo de energía han reavivado el interés en el estudio de su estructura energética y el desarrollo de nuevas tecnologías de bajo carbono. Los combustibles fósiles proporcionaron alrededor del 81% de la energía comercial en el 2009 [5], implicando una creciente concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera terrestre, la cual tiene el potencial de ocasionar cambios significativos en el clima con efectos económicos y sociales graves. Las emisiones de CO₂ se creen que son responsables de aproximadamente tres cuartas partes de los gases de efecto invernadero. Por primera vez en la historia, en el 2008 la fracción de las emisiones de CO₂ en los países en vías de desarrollo fue de 50,3%, superando a los países industrializados (46,6%), en los cuales ya esta definido un objetivo de mitigación de emisiones regido por el Protocolo de Kyoto [2].

1.1. Reconociendo la urgencia

Acciones sobre el cambio climático constituyen una necesidad urgente. Si no se toman medidas para las emisores de GEI, a finales de siglo el mundo podría alcanzar un incremento de temperatura de 4C° con respecto al comienzo de la revolución industrial [5].

El reporte de “Climate Change the Costs of Inaction” demuestra que el cambio climático no sólo es una catástrofe socio-ambiental sino también económica, especialmente si la temperatura sobrepasase los 2C°, de ser así se incurrirá en un costo anual de 12 trillones de dólares y de tomar acciones necesarias el costo sería un cuarto de éste monto. Con el cambio climático se incluyen un sin número de impactos como la pérdida de campos de cosechas a nivel mundial, el incremento en las intensidades de sequías, la disminución de reservas de agua, y la casi desaparición completa de los arrecifes de corales, la proliferación de enfermedades como la malaria, además de la extinción de muchas especies del ártico incluido el oso polar. La tarea es urgente, retrasar acciones en una década o dos nos llevará a un territorio peligroso no debemos perder la oportunidad de intervenir (“Failure” 2006), según el cálculo de éste reporte abordar el problema costará 20 veces menos que no tomar acción alguna [11].

1.2. Potenciales alternativas de reducción de GEI

Potencialmente hay una amplia gama de vías de reducción de emisiones de GEI, para el CO₂ se pueden lograr a través de:

- La reducción de demanda energética; se pueden dar influenciando una serie de medios, incluyendo medidas fiscales y cambios en el comportamiento humano.
- La alteración de la forma de utilización, además del cambio en los métodos de producción, y distribución energética.

En el área técnica, hay una serie de distintas opciones para reducir las emisiones, así se ilustran en el diagrama presentado en la Figura 1.

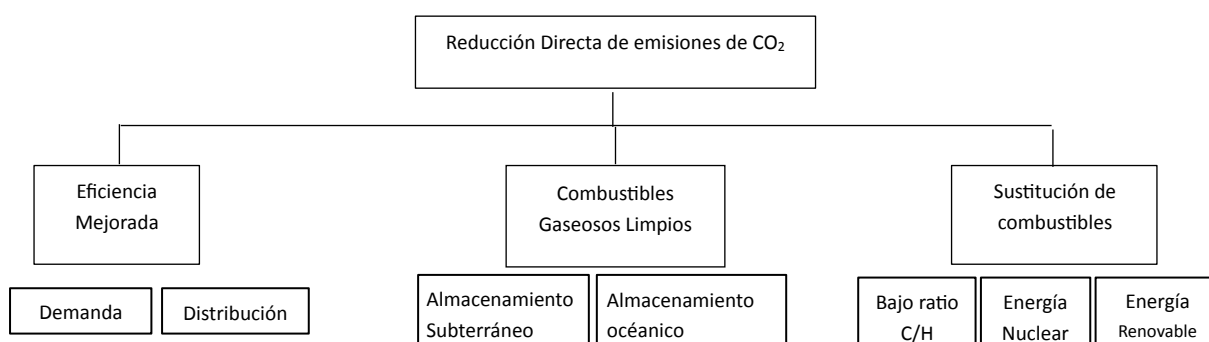


Figura 1. Opciones de reducción directa en emisiones de CO₂ en sistemas de generación energética.

Fuente: U. Aswathanarayana, 2010.

Las emisiones directas están normalmente confinadas en el punto de combustión del combustible. Las emisiones indirectas son aquellas que surgen de la recuperación, el procesamiento y la distribución del combustible. La tecnología del CCS es una de las alternativas en la cartera de opciones que permite la disminución de emisiones de CO₂ en la atmósfera procedentes de plantas de generación de energía en base a combustibles fósiles relativamente baratos; también el CCS permite la reducción de otros contaminantes como SO_x, NO_x y material particulado. Actualmente, las tecnologías de CCS aún no son comercialmente aprobadas a gran escala para las centrales eléctricas alimentadas por carbón o gas natural. El coste de ésta, es relativamente alto, debido principalmente al alto coste de la captura de CO₂. Existe una intensa actividad de investigación en todo el mundo para desarrollar procesos con menor costo de separación de CO₂.

2. Intensidad de emisiones de CO₂

2.1. Contexto global

A nivel global, el CO₂ es el más abundante GEI antropogénico, representó el 76% del total de éstos en el 2008; las emisiones de CO₂ de fuentes de combustibles fósiles por si sola representaron el 62% del total de GEI [4], es así que la generación eléctrica es por mucho, la mayor fuente de emisiones de CO₂ (Ver Figura 2).

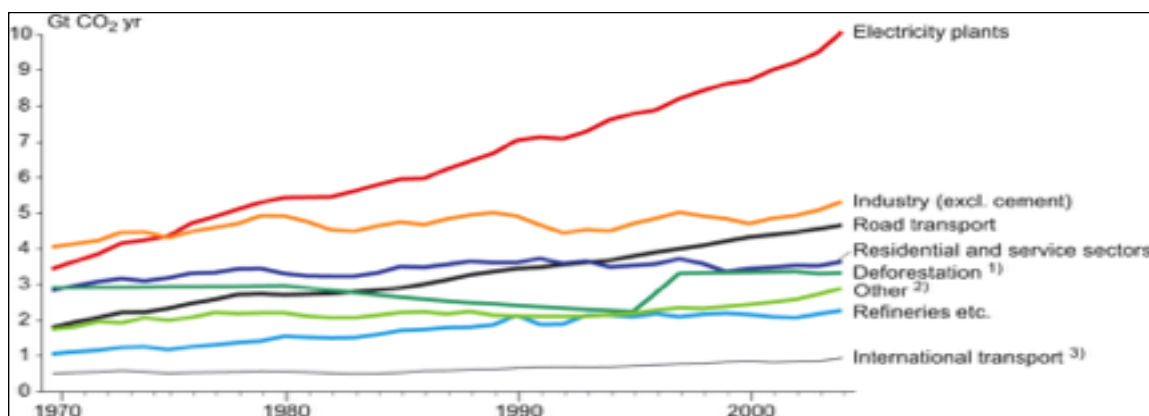


Figura 2. Emisiones globales de CO₂ en 1970-2004. Sólo emisiones directas por Sector.

Fuente: OECD/IEA, 2013. Redrawing the Energy-Climate Map World Energy Outlook Special Report; 2013.

Notas: (1) Incluye la leña en un 10% de la contribución neta, la quema de bioma a larga-escala datos promediados entre 1997-2002, incluyendo descomposición e incendios, excluyendo incendios por combustibles fósiles; (2) otros medios de transporte por tierra, domésticos y el uso no energético de los combustibles, producción del cemento, quema de gas a partir de petróleo; (3) incluyendo la aviación y el transporte marítimo.

Las emisiones de CO₂ globales, aumentaron para el 2012 en sólo 1.1%, produciendo una desaceleración global en emisiones anuales, a un total de 34.5 Gt. En la pasada década el aumento anual promedio de emisiones registrado fue de 2.7%. Para mayo del 2013, hubo una concentración sin precedentes de más de 400ppm en la atmósfera, por encima de 355ppm del año 1990 [9]. Tempranos indicios sugieren que las tendencias de emisiones de CO₂ en los países en vías de desarrollo continuarán creciendo en el 2014, ocasionado por el consumo creciente de combustibles fósiles en los países de gran tamaño como China e India.

2.2. Emisiones de CO₂ por combustible y sus proyecciones para el 2035

En el 2012, el 44% de emisiones de CO₂ fueron por la combustión producida por carbón, el 44% por gas y 12% por petróleo. El crecimiento de las emisiones producidos por la combustión de estos combustibles en ese año fue de 2.7% para el gas natural, 1.1% para el petróleo y el 0.6% para el carbón reflejando las tendencias variables que se esperan que continuen en el futuro [10]. Actualmente, el carbón cubre el crecimiento en la demanda energética de aquellos países en vías de desarrollo (China e India). El WEO 2012 [7] proyecta que sin medidas adicionales de reducción de emisiones de CO₂, para el 2035 se dará lo siguiente:

- Las emisiones provenientes del carbón crecerán en un 15.3 Gt de CO₂. Sin embargo, si se tendrían plantas más eficientes, el desuso de tecnologías contaminantes así como el incremento del uso de energías renovables, nuclear y tecnologías de CCS, se daría la caída del consumo del carbón en consecuencia sus emisiones serían de 5.6 Gt.
- Las provenientes del petróleo crecerán a 12,6 Gt de CO₂, principalmente debido al aumento en la demanda del transporte.
- Las provenientes del gas seguirán creciendo, llegando a 9,2 Gt de CO₂.

2.3. Emisiones de CO₂ por región

Para el 2012, los seis emitores más grandes tuvieron la siguiente distribución, Figura 3.

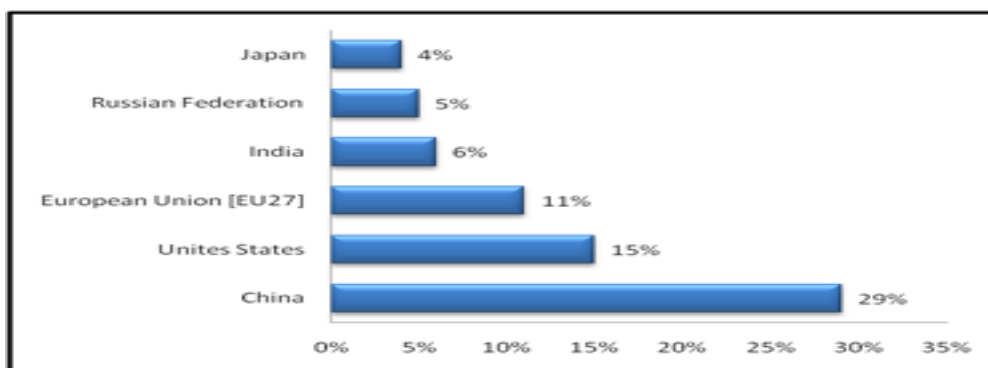


Figura 3. Las emisiones globales de CO₂ por región por el uso de combustibles fósiles.

Fuente: Jos G.J. Olivier, Greet Janssens-Maenhout, Marilena Muntean, Jeroen A.H.W. Peters; 2013; Trends in global CO₂ emissions: 2013 Report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency Institute for Environment and Sustainability (IES) of the European Commission's Joint Research Centre.

Tendencias remarcables se observan en los tres mayores emisores, los cuales representan el 55% del total de emisiones globales de CO₂. Entre el 2011 y el 2012:

- China incrementó sus emisiones en un 3.0%, el cual equivale a los dos tercios del aumento de CO₂ mundial neto en el 2012.
- Estados Unidos disminuyó en un 4.0%. Lo que representa el 40% menos en el incremento para el 2012.
- En la Unión Europea también se produjo un descenso de 1.6%. Estos se dieron en países como: Italia, Polonia, España y los Países Bajos, mientras que tanto en el Reino Unido como en Alemania hubo un incremento. Esto equivale a un 10% menos del incremento neto anual 2012.
- Debido a la secuela del accidente nuclear de Fukushima, Japón mostró un incremento del 6.2%, que equivale a un quinto en el incremento de emisiones neto para el 2012.
- Las emisiones en la India representan un cuarto del incremento neto mundial en el 2012.

2.4. Emisiones de CO₂ por Sector

De acuerdo con el "Redrawing the Energy-Climate Map World Energy Outlook Special Report; 2013; OECD/IEA, 2013 International Energy Agency, Paris [France]", la distribución de emisiones de CO₂ por Sector productivo es: 13 Gt (Energía y Calefacción); 7 Gt (Transporte); 5.5 Gt (Industria); 2.9 Gt (Construcción).

- El sector energético y calefacción es la mayor fuente, produciendo más de 13 Gt en el 2011, equivaliendo a más del 40% en el año 2000.
- Las emisiones del transporte incluyen aviación y buques internacionales. Estas son las principales fuentes de emisiones de uso final, constituyendo poco menos de 7 Gt en el 2011, ésta está dominada por el petróleo para el transporte terrestre, el cual viene

teniendo un incremento anual promedio de 1.7% desde el 2000.

- Las emisiones procedentes de la industria han tenido un incremento de 38% desde la década del 2000, llegando a 5.5 Gt.
- El total de emisiones de CO₂ relativas al sector de la construcción (incluye uso residencial de servicios), alcanzaron 2.9 Gt el 2011, siendo el gas natural la mayor fuente con aproximadamente un 50% del total, principalmente en Estados Unidos y Europa.

3. Investigación, desarrollo y demostración de tecnologías de bajo carbono en el sector energético

La intensidad de la I&D en el caso del sector de energía se estima en 0,5%. Esto es mucho menos de la intensidad de la I&D en la industria del automóvil (3,3%), de la industria de la electrónica (8%) y de la industria farmacéutica (15%). El financiamiento del sector privado en cuanto a la I&D en los sectores relacionados con la energía (USD 40-60 billion / año) es de cuatro a seis veces más que la financiación gubernamental en estos sectores [12].

3.1. Barreras de la difusión tecnológica

La tasa de difusión tecnológica depende de las siguientes características del mercado para productos individuales:

- Tasa de crecimiento del mercado, y la velocidad a la que el capital inicial y el stock se reduzcan progresivamente,
- La velocidad a la cual la nueva tecnología puede entrar en funcionamiento,
- La disponibilidad de una infraestructura de soporte, y
- La viabilidad y la competitividad de las tecnologías alternativas.

Otros factores que influyen en la velocidad de difusión son: la política del gobierno en la eliminación gradual de las normas y reglamentos que limitan ésta, la introducción de nuevas tecnologías, la disponibilidad de personal capacitado para producir, instalar y mantener equipos nuevos, la capacidad de los proveedores existentes en el mercado de nuevos equipos, la difusión de los consumidores de la información, y los incentivos para la compra de nuevos equipos, y el grado de cumplimiento de los reglamentos y normas.

La rápida difusión tecnológica necesita la eliminación de las siguientes barreras:

- Los inversores no son inducidos a invertir debido a la no disponibilidad de información clara y convincente acerca de un producto,
- Los costos de transacción (costos indirectos es decir, de la decisión de compra y del uso de equipos) son altos,
- El comprador percibe un riesgo más alto de lo que realmente es,
- Los costos de las tecnologías alternativas no se calculan correctamente, y el acceso al mercado (fondos) es difícil,
- Los altos costos y las normas fiscales que favorecen a largos períodos de depreciación,
- El exceso de reglamentación / ineficiente el cual no mantiene el ritmo emergente,
- La Capacidad inadecuada para introducir y gestionar nueva tecnología, y
- La no difusión de los beneficios de economía a escala y de las rutas de aprendizaje de estas tecnologías.

3.2. Estrategias de aceleración de la implementación de tecnologías nuevas

El desarrollo de políticas de gobierno debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Reconocimiento de los costos adecuados al impacto de las emisiones del CO₂ en las distintas tecnologías,

- La garantía de apoyo a las políticas de tecnologías limpias,
- Alentar a la industria a valerse por sí misma, es decir, sin el apoyo directo del gobierno — las políticas de apoyo demasiado generosas pueden frenar la innovación.
- Los gobiernos pueden promover la comercialización de tecnologías de eficiencia energética a través de códigos y normas, directrices, incentivos fiscales y financieros, etc.

3.3. Etapas en la implementación tecnológica

Las etapas estan esquematizadas en el siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Etapas en la Implementacion de tecnologias. Fuente: U. Aswathanarayana, 2010.

I&D	Demostración	Implementación	Comercialización
- Tiene por objeto superar los obstáculos técnicos y reducir los costos. - Los resultados comerciales son muy inciertas, sobre todo en las primeras etapas.	- La tecnología se demuestra en la práctica. Los costos son altos. - Fondos Externos (incluido el gobierno) pueden ser necesarios para financiar parte o la totalidad de los costos de la demostración.	- Exitosa Operación técnica, pero posiblemente hay necesidad de apoyo para superar las barreras de costo u otras. - Con el aumento de despliegue y con el aprendizaje de la tecnología, se disminuirá progresivamente los costos.	- La tecnología tiene un costo competitivo en algunos o todos los mercados, - La difusión, ya sea en sus propios términos, o con el apoyo de la intervención del gobierno (tales como los costos de la contaminación)

Por el lado de la demanda, ya existen tecnologías económicamente viables que son capaces de soportar las reducciones necesarias en las emisiones de CO₂. La comercialización de éstas no puede tener lugar sin el apoyo del gobierno.

Las tecnologías de bajo carbono se deben desarrollar a corto plazo (10 a 15 años), como se muestra en la Figura 4, el eje X muestra las etapas de desarrollo de tecnologías de bajo carbono y las renovables (Ciencia Básica, I&D Aplicada, demostración, distribución y comercialización), mientras que el eje Y muestra el ahorro de CO₂ conseguido por aplicación de éstas tecnologías.

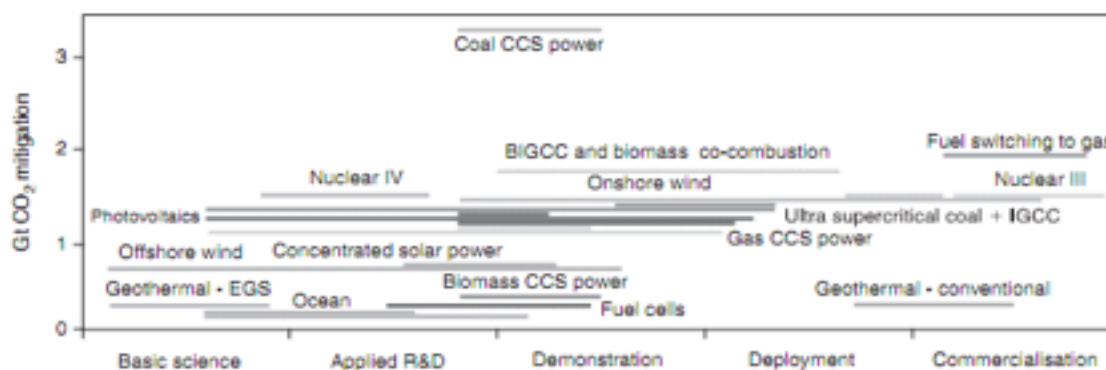


Figura 4. Reducción del CO₂ por Cluster de Tecnología.

Fuente: U. Aswathanarayana; 2010; Deployment and role of technology learning. In: Green Energy Technology, Economics and Policy, Vienna, Austria: CRC Press Inc; p. 230–235.

La economía global energética necesita ser transformada profundamente en las próximas décadas en términos de formas de suministro y consumo energético; con una mayor eficiencia energética, mayor uso de energía renovable y nuclear; CCS a escala masiva, y el desarrollo del transporte libre de carbono.

4. CCS: progresos y desafíos

4.1. Definición

Es una tecnología que puede reducir la cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera por el uso de combustibles fósiles en centrales eléctricas y otras industrias como la del acero, del cemento y la producción del amoniaco. CCS involucra tres etapas principales, cada una con su propio conjunto de tecnologías (ver Figura 5):

- a) La captura o colección de CO₂, producida por las grandes plantas industriales, que utilizan combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas);
- b) El Transporte de CO₂ al emplazamiento de almacenamiento adecuado, y
- c) El almacenamiento, que es el bombeo profundo bajo tierra entre las rocas en el que se almacenará de forma segura y permanente fuera de la atmósfera.

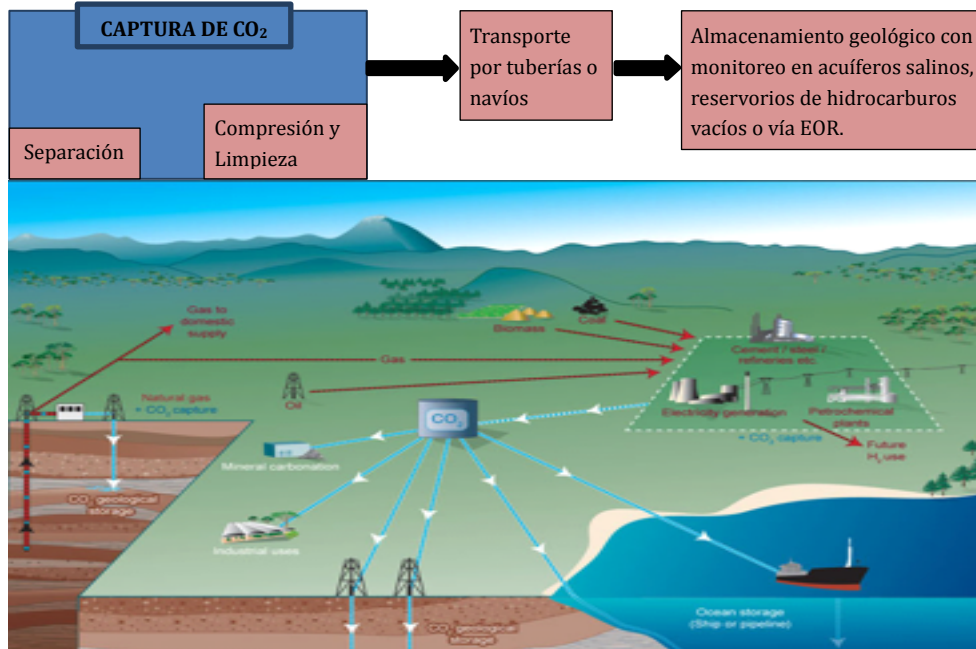


Figura 5. Esquemas del CCS.

Fuente: What is carbon capture? : Mother Nature Network. 2011. Disponible en: <http://www.mnn.com/earth-matters/energy/stories/what-is-carbon-capture>.

Comercialmente aún no se ha demostrado industrialmente a gran escala. En consecuencia se hacen significativos esfuerzos en investigación y desarrollo en una serie de países. Sin embargo, es poco probable que este disponible a gran escala antes del 2020.

a) Captura del CO₂

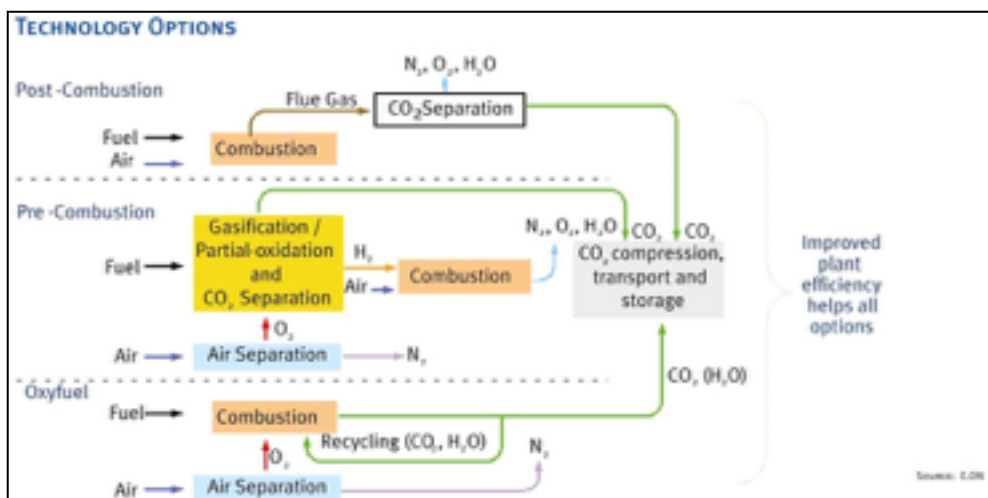


Figura 6. Enfoques Tecnológicos. Fuente: IEA ETP2010.

La Figura 6 ofrece una visión general de los sistemas de Captura de CO₂. Existen tres enfoques para la captura de CO₂ generado a partir de la alimentación de combustibles fósiles, carbón o gas natural, en las centrales eléctricas. La Captura del CO₂ es la primera etapa, ésta puede efectuarse

de diferentes maneras, generalmente los tipos de tecnologías son: Post-Combustión, Pre Combustión, y la combustión Oxyfuel.

b) Transporte de CO₂

Las tuberías son la forma más común de transporte de CO₂, éste es típicamente comprimido a una presión superior a 8 MPa con el fin de evitar los regímenes de flujo de dos fases y aumentar la densidad del CO₂, de esa manera el transporte es más fácil y menos costoso. Ya existen redes de transporte, ya que el CO₂ se utiliza para la recuperación mejorada de petróleo (ERO) por inyección en los embalses, sobre todo en Estados Unidos.

Por lo general de CO₂ se transporta en estado supercrítico, es decir, a alta temperatura y presión para maximizar su densidad. Pero la compresión requiere instalaciones costosas. El transporte de CO₂ por barco es también una tecnología establecida que podría convertirse en importante, si es que las fuentes de CO₂ y los almacenamientos son muy distantes; sobre la base de los costos estimados de transporte buque se piensa que este es favorecido sobre las tuberías pero sólo si el transporte de CO₂ es mayor de 1.000 kilómetros.

c) Almacenamiento de CO₂

Se han propuesto varios métodos para almacenar el carbono liberado por la quema de combustibles fósiles. Estos planteamientos implican tres alternativas:

- El almacenamiento geológico en depósitos subterráneos,
- El almacenamiento oceánico en los ecosistemas marinos, y
- El almacenamiento en la tierra como biomasa o como mineral carbonato.

El almacenamiento geológico es el enfoque más prometedor; sin embargo el océano y el almacenamiento en la tierra también tienen potencial.

Además de considerar el almacenamiento de CO₂ en términos de ubicación, las opciones de almacenamiento también se pueden clasificar por procesos, es decir, en: físicos, biológicos y químicos que son el principal mecanismo para el almacenamiento. Dentro de esta clasificación, los enfoques biológicos se basan en la fotosíntesis para capturar y convertir el CO₂ atmosférico en carbono orgánico, métodos químicos se basan en una reacción química para transformar el carbono a su fase gaseosa o en carbono en fase sólida, los métodos físicos se basan en las barreras físicas que confinan CO₂ en fase gaseosa en un lugar distinto al de la atmósfera. Dentro de este esquema de categorización, los enfoques físicos han recibido la mayor atención. El más prometedor de los procesos físicos es la inyección directa de gas CO₂ en formaciones geológicas incluyendo yacimientos agotados de petróleo y gas, en las capas de carbón no explotables y acuíferos salinos profundos. Es necesario que el CO₂ capturado se almacene de forma segura durante cientos o incluso miles de años, a fin de evitar que éste llegue a la atmósfera.

4.2. CCS y sus desafíos

La tecnología CCS se enfrenta a muchos desafíos, la demostración a gran escala con éxito y el despliegue comercial incluyen temas como:

- Financiación de proyectos de demostración a gran escala y
- Integración de la CCS en las políticas de GEI.

Los altos costos y las penalidades energéticas en las tecnologías CCS; el desarrollo y la financiación de la infraestructura adecuada para el transporte de CO₂; el desarrollo de marcos jurídicos y normativos para garantizar un almacenamiento seguro y permanente del CO₂; consulta pública adecuada, el desarrollo de capacidades y la sensibilización en las economías de rápido crecimiento basado en combustibles fósiles, en consecuencia los proyectos de CCS necesitan ser:

- a) Demostrados a escala en todas las principales economías basadas en combustibles fósiles, incluidas las economías emergentes.
- b) Diseñados para maximizar el intercambio de conocimientos a través de la publicación transparente y regulación de sus resultados.
- c) La captura de CO₂ deberá ser demostrada:
- d) Usando una variedad de tecnologías de captura de CO₂.
- e) En una variedad de fuentes puntuales (como el carbón y el gas), despedido en centrales eléctricas, las refinerías, plantas químicas, plantas de cemento, plantas de fabricación de hierro y acero, y otras operaciones industriales.
- f) A través de la adaptación de centrales de energía a carbón (esto es urgente).
- g) Introduciendo el uso de la biomasa (esto ofrece una importante oportunidad de reducción de carbono, y debe llevarse a cabo con urgencia).
- h) El Transporte del CO₂ necesita ser mejorado:
- i) A través de la implementación de infraestructura.
- j) Mediante la aplicación de un efectivo diseño y las regulaciones dadas por las redes de trabajo (networks).
- k) El Almacenamiento de CO₂ necesita ser demostrado:
- l) En un conjunto más amplio de proyectos con diferentes configuraciones geológicas.
- m) Con la recuperación mejorada de petróleo y gas (EOR), que ofrece oportunidades verdaderas de costes efectivos, esto abre posibilidades reales de demostración de CCS, y debe ser considerado en una oportunidad temprana.
- n) La Legislación sobre el cambio climático no debe retrasarse.
- o) Con el fin de lograr la reducción de emisiones de forma más eficiente y eficaz los caminos a la implantación del CCS no debe estar en desventaja.
- p) La financiación de proyectos de demostración de CCS debería acelerarse.
- q) La experiencia y el aprendizaje deben ser compartidos.

4.3. Análisis FODA para el CCS

4.3.1. Fortalezas del CCS

- Las Tecnologías de CCS son ampliamente reconocidos como las más prometedoras y la única tecnología viable comercialmente disponibles para mitigar las emisiones de CO₂ procedentes de la utilización de combustibles fósiles a gran escala. El CCS se incluye en todas las estrategias de mitigación del cambio climático rentables de la IEA e IPCC. La IEA [6] estima que el CCS puede contribuir con 19% de la reducción de emisiones, además que el costo de lograr la misma reducción de emisiones sin CCS sería mayor en 70%.
- El CCS ha sido utilizado con éxito en las industrias de petróleo y gas durante décadas, agresivos esfuerzos internacionales están en marcha para demostrarlo en centrales de carbón y de gas natural.
- Representa la oportunidad creciente de una nueva economía.
- Al ser reconocido como un Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) representa también una posibilidad de dar un valor agregado a proyectos ambientales de reducción de GEI. A la vez ayuda a los países desarrollados a alcanzar sus metas de desarrollo sostenible y que los países donde se realiza el proyecto, se beneficien por la transferencia de tecnología limpia y también por un avance en el crecimiento sostenible.

4.3.2. Debilidades del CCS

- Los avances en la tecnología son notoriamente impredecibles. No es posible predecir el costo de los gases formados a partir de hidratos en el fondo del mar en 50 años a partir de ahora. Hoy en día ni los hidratos ni el gas están siendo contados en la estimación de recursos. Es igualmente difícil predecir si el carbón depositado a 2000 m por debajo de la tierra seguirá siendo explotable.
- Existe un potencial retraso en el programa asociado con el desarrollo de los

elementos particulares de la cadena del CCS. Por ejem. si el desarrollo de una red de transporte y almacenamiento se retrasa, esto también impone retrasos significativos para el proyecto de captura de la planta.

4.3.3. Oportunidades del CCS

- Los recursos de combustibles fósiles son bastos y además su tecnología está suficientemente desarrollada, por lo que seguirá jugando un papel importante en la prestación de la creciente demanda mundial de energía.
- La Demostración del CCS en los países en vías de desarrollo, que dependen de combustibles fósiles, es por ahora revisada por todas las partes interesadas como parte esencial para conseguir su posible implementación y así descarbonizar sus propios sectores energéticos.
- Desarrollar las tecnologías de captura y almacenamiento abrirá una nueva oportunidad de negocio desde el punto de vista tecnológico. En cuanto a los procesos de captura de CO₂, una nueva industria va a emerger en el mercado, tanto en los países industrializados como en los en vías de desarrollo; ya se están haciendo esfuerzos en la conservación de energía, reducción de emisiones y en la expansión de sus aplicaciones a diversos sectores.
- El desarrollo de los recursos energéticos renovables sin duda aumentará el consumo de la energía fósil, además, ya que tanto el viento como los recursos de energía solar son impredecibles e intermitentes, es decir, la electricidad se genera sólo cuando hay viento o luz solar, pero la producción y sus utilidades también necesitan electricidad y con aún mayores demandas cuando el viento o la luz solar están ausentes. Para aprovechar al máximo el uso de la energía eólica y la energía solar fotovoltaica, la capacidad instalada de energía térmica debe incrementarse para garantizar un suministro constante y suficiente, esto requiere más energía proveniente de fósiles.

4.3.4. Amenazas del CCS

- Las tecnologías del CCS debido a la alta incertidumbre de su propia tecnología, tiene como mayor impedimento para el futuro la falta de consenso sobre los objetivos a largo plazo, sin un objetivo claro, será difícil que los países empleen ésta tecnología a gran escala.
- Hay muchas tecnologías alternativas que también pueden contribuir a la reducción de emisiones a gran escala. El CCS tiene una menor competitividad que la energía eólica. Para que el CCS sea una opción viable depende principalmente de su costo. Estudios actuales en China concuerdan que el costo de generación energética aumentará, es así que sus centrales nacionales de carbón incrementarán el costo de generación de energía de 2-3 veces después de modernizarse con CCS, en el 2005, con la tecnología existente, el costo de energía en centrales de carbón era de 0,23 a 0,28 RMB/kWh, después de adaptarse con CCS el costo se incrementaría de 0,4 a 0,8 RMB/kWh, mientras que el costo de generación eólica es 0,35 RMB/kWh [8].
- El aumento del precio en los combustibles fósiles.

4.4. Progreso en proyectos CCS: actividades globales

Los proyectos pueden ser analizados de acuerdo a sus niveles de integración, algunos de éstos se enfocan exclusivamente a la captura, transporte o almacenamiento del CO₂, mientras que otros son de alcance más amplio y pueden incluir una combinación de componentes o cubrir totalmente la cadena del CCS a lo que se considera como un proyecto integrado.

4.4.1. Proyectos integrados de gran escala LSIPs

Los LSIPs son definidos como proyectos que involucran la captura, el transporte y el almacenamiento a una escala de:

- Por lo menos 800 000 toneladas de CO₂ al año provenientes de una central de energía a base de carbón, o
- Por lo menos 400 000 toneladas de CO₂ al año provenientes de otras instalaciones industriales con intensas emisiones (incluyendo la generación de energía a base de GN).

Los umbrales mencionados anteriormente corresponden a los volúmenes mínimos de CO₂ típicamente emitidos por centrales eléctricas a escala comercial y otras instalaciones industriales. Los proyectos en esta escala deben almacenar CO₂ antropogénico permanentemente en los almacenamiento geológico de calificar como LSIPs y proyectos que involucren el uso de EOR-CO₂ antropogénico también pueden satisfacer esta definición.

4.4.2. Los LSIPs en el 2013 a nivel Global

El instituto “The Global CCS Institute” [3] ha identificado 65 LSIPs globalmente, proyectos integrados a gran escala en todo el mundo se ha reducido de 75 a 65, cinco han sido cancelados, uno ha disminuido su escala, y siete están en suspenso, hay tres nuevos proyectos identificados uno en Brasil, China y Arabia Saudita.

A nivel mundial, doce proyectos integrados a gran escala de captura y almacenamiento están impidiendo que 25 millones de toneladas al año (Mtpa) de GEI lleguen a la atmósfera, con otros ocho en construcción, se espera que se aumente a un total de 38 Mtpa para el 2016.

4.4.3. Clasificación de los LSIPs según el modelo del ciclo de vida de Worley Parsons

Este modelo clasifica el estado de un proyecto, de acuerdo a su etapa de desarrollo. A la vez que constituye un marco de ayudar en la toma de decisiones y articula un enfoque por etapas. Según el actual estado de los LSIP – CCS, se agrupan en las siguientes categorías:

- Los proyectos planeados son los que están en etapas de identificación, evaluación o definición en el modelo, es decir antes de la decisión final.
- Los Proyectos activos están en las etapas de ejecución u operación, es decir, después de la decisión final. Es importante señalar que activo no significa necesariamente que un proyecto está en funcionamiento o que la inyección del CO₂ se haga de forma activa en almacenamientos.

En la siguiente Figura 7 se muestra la cantidad de proyectos y su estado al 2013.

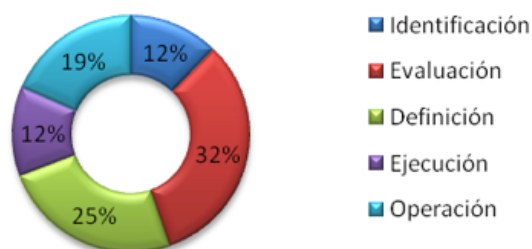


Figura 7. LSIPs por ciclo de vida de Worley Parsons.

- La mayoría de los LSIPs están en la etapa de Evaluación (32%), lo que significa que se encuentran en los estudios de prefactibilidad (diseño, estimación de costos, etc).
- Seguimiento de proyectos en etapa de Definición (25%); para países como China el mayor número de proyectos están en etapa de Identificación.

4.4.4. LSIPs por región

Esta distribución se muestra a continuación en la Figura 8.

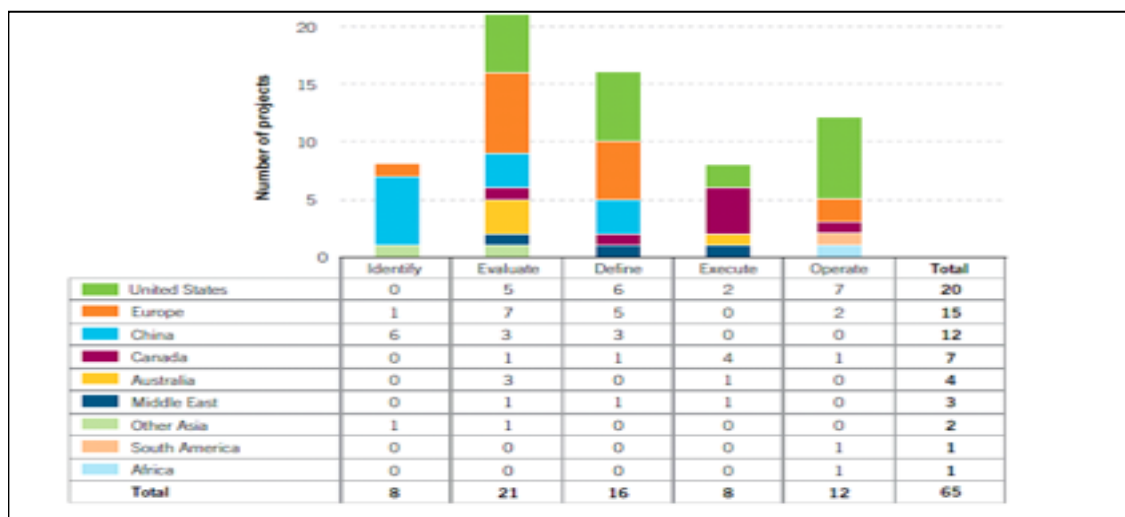


Figura 8. LSIPs según etapa de desarrollo y región.

Fuente: Global CCS Institute, 2013. The Global Status of CCS: 2013 Melbourne, Australia.

- US tiene la mayor cantidad de proyectos por región, con 20 LSIPs, la mayoría en fase de definición.
- La región europea con 15 LSIPs es el segundo en número, esto puede atribuirse en gran parte al compromiso del 2007 por la UE en el cual se comprometieron a la construcción de 10 a 12 plantas de demostración de CCS a gran escala para el 2015, los cuales serán evaluados en licitación pública para su viabilidad.
- Canada tiene siete proyectos, la mayoría (4) en etapa de Ejecución.
- Australia con cuatro proyectos de los cuales tres están en fase de evaluación.
- En China posee el mayor número de proyectos en etapa de Identificación.
- Cuatro proyectos han comenzado a operar el 2013, estos son: Air Products Steam Methane Reformer EOR, Planta de Gasificación de Coffeyville, Lost Cabin Gas Plant, all in the United State (US) y CCS Proyecto Petrobras Lula Oil Field en Brazil.

Como se muestra en el Cuadro 2, existen actualmente a nivel global plantas a gran escala operando y en etapa de ejecución, la gran mayoría están en USA.

Cuadro 2. LSIPs en estado de Ejecución y Operación en el 2013. Fuente: Global CCS Institute, 2013.

Nombre del Proyecto	País	Masa de CO ₂ MTPA	Fecha operación	Tipo de Captura	Tipo de almacenamiento
En etapa de operación.					
Val Verde Planta Gas Natural.	U.S	1,3	1972	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
Enid- Fertilizantes – Proyecto EOR.	U.S	0,68	1982	Separación Industrial	EOR
Shute Creek- Fábrica procesamiento de gas.	U.S	7	1986	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
Sleipners Inyección CO ₂ .	Noruega	0,85	1986	Pre- Combustión gasificación.	Formaciones salinas profundas.
Great Plains Synfuel plants y Proyecto Weyburn-Midale.	Canada	3	2000	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
En Salah Almacenamiento de CO ₂ .	Argelia	Inyección suspendida.	2004	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	Formaciones salinas profundas.
Snotvit Inyección CO ₂ .	Noruega	0,6 - 0,8	2008	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	Formaciones salinas profundas.

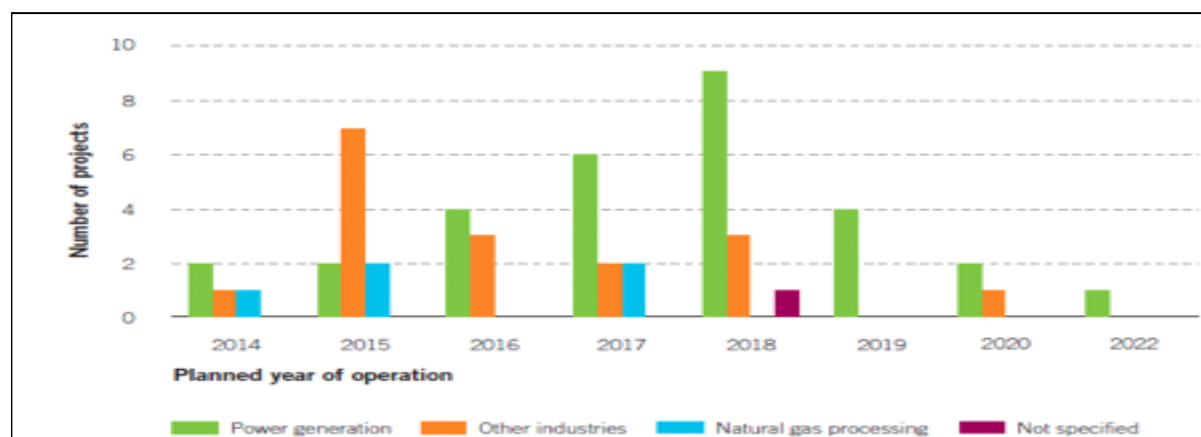
Planta Century	U.S	8,4	2010	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
Air Product Steam Reformado de Metano Proyecto EOR	U.S	1	2013	Pre- Combustión gasificación	EOR
Petrobras Lula Oil Field. Proyecto CCS.	Brazil	0,7	2013	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
Coffeyville Planta de Gasificación. Planta de gasificación.	U.S	1	2013	Separación Industrial	EOR
Lost Cabin. Planta de gas.	U.S	1	2013	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
En etapa de Ejecución.					
Boundary Dam Planta de gas.	Canada	1	2014	Post- Combustión	EOR
Illinois Industrial. Proyecto CCS.	U.S	1	2014	Separación Industrial	Formaciones salinas profundas.
Kemper County. Proyecto IGCC.	U.S	3,5	2014	Pre- Combustión (gasificación)	EOR
Uthmaniyah Proyecto CO ₂ -EOR.	Arabia Saudita	0,8	2014	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	EOR
ACTL con Agrium vapor CO ₂ .	Canada	0,4-0,6	2015	Separación Industrial	EOR
Gorgon Carbon Proyecto Inyección CO ₂ .	Australia	3,4-4,1	2015	Pre- Combustión (procesamiento gas natural)	Formaciones salinas profundas.
Quest.	Canada	1,08	2015	Pre- Combustión (gasificación)	Formaciones salinas profundas.
ACTL con Sturgeon nor - oeste Refinería vapor CO ₂ .	Canada	1,2 – 1,4	2016	Pre- Combustión (gasificación)	EOR

4.4.5. Distribución de los LSIPs por Industria

Figura 9. Proyectos Planificados por año e industria (no incluye los ya operativos).

Fuente: Global CCS Institute, 2013. The Global Status of CCS: 2013 Melbourne, Australia.

De los 65 LSIPs, 30 se dan en centrales de generación mayormente en las de carbón. Este nivel de



actividad en el sector de generación de energía es proporcional a la necesidad de reducir las emisiones de este sector a través de la aplicación del CCS, seguido por el sector de procesamiento de gas natural y de procesamiento de gas natural sintético.

En la Figura 9 se aprecia que en promedio, los proyectos de generación de energía actualmente planificados en la lista de LSIP estarán en operación el 2017, en comparación con los de procesamiento de gas natural y otras industrias que están para el 2016. Excluyendo aquellos en etapa de Ejecución, 12 proyectos de generación de energía esperan estar en operación para el año 2017. La construcción de éstas plantas de energía pueden durar entre tres y cuatro años, en función de que sea una nueva construcción o adaptada con la captura.

5. Mecanismos de reducción de GEI

El Protocolo de Kioto ofrece a los países participantes mecanismos flexibles para facilitarles el cumplimiento de las metas puestas de reducción de las emisiones. Se estableció tres mecanismos para facilitar el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de GEI:

- **Comercio de emisiones entre países desarrollados**, incluyendo sus empresas. Para poder cumplir con sus compromisos de reducción de GEI, los países industrializados tienen la posibilidad de comprar derechos de emisiones a países que están por debajo de sus cuotas. Las unidades de venta se llaman Cantidades de Unidades Asignadas (AAU).
- **El Mecanismo de Implementación Conjunta (JI)**, por medio de este mecanismo se pueden realizar inversiones entre los países industrializados y en transición en proyectos que reducen las emisiones de GEI. Si un país o una empresa invierte en otro país en un proyecto recibe a cambio certificados por la reducción de emisiones y con eso puede bajar el nivel de sus emisiones. Las unidades de venta se llaman Unidades de Reducción de Emisiones (ERU).
- **El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)**, éste involucra a los países en desarrollo (país Non-Anexo I) y funciona bajo el mismo principio que el Mecanismo de Implementación Conjunta.

5.1. El MDL en países en desarrollo

Un proyecto MDL en un país en desarrollo, genera Certificados de Emisiones Reducidas (CERs), los cuales pueden ser vendidos a un país industrializado. Con los ingresos se puede financiar (en parte) el proyecto MDL. El país industrializado a su vez puede, por la compra de los CERs, reducir o compensar sus emisiones y de esta manera este mecanismo ayuda al país industrializado a alcanzar sus metas de reducción de emisiones, a la vez ayuda a los países en vías de desarrollo a alcanzar sus metas de desarrollo sostenible. Así el país anfitrión, donde se realiza el proyecto, se beneficia por la transferencia de tecnología limpia y también por un avance en el crecimiento sostenible. Esto se ilustra en la Figura 10.

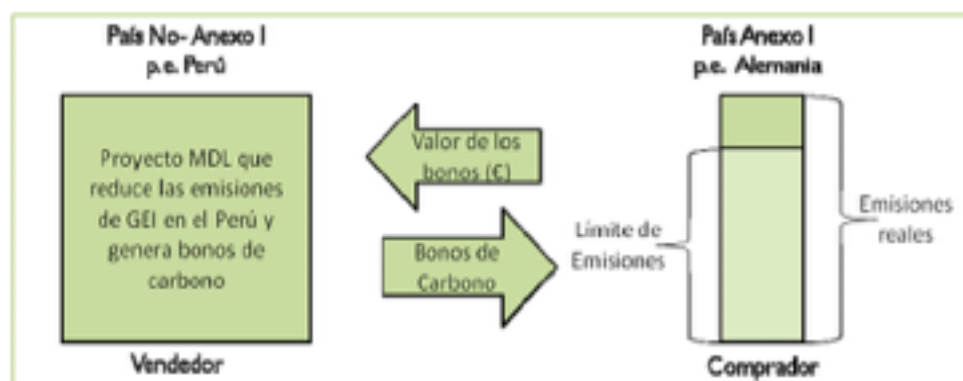


Figura 10. Funcionamiento del Mecanismo de Desarrollo Limpio.

Es así que el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) representa también una posibilidad de dar un valor agregado a proyectos ambientales de reducción de GEI. Se pueden realizar proyectos en diversos ámbitos como el de generación de energía, gestión de residuos, transporte, desarrollo forestal, entre otros, que no hubieran sido posibles sin la aplicación de este mecanismo.

5.2. MDL y CCS

Tras la decisión de Cancún que permitía la consideración de este tipo de actividades como proyectos MDL, entre los principales resultados de la 17ª conferencia de las partes de la convención marco de naciones unidas sobre cambio climático (cop17), se ha logrado alcanzar un consenso y adoptar las modalidades y procedimientos que regularán su puesta en marcha. Estas modalidades serán periódicamente revisadas, a la luz de la experiencia que se vaya adquiriendo en el tema, con una primera revisión a más tardar en 5 años. Estas futuras revisiones no tendrán carácter retroactivo. La inclusión de la CCS en el MDL refleja la aceptación internacional final que el CCS es tan legítima tecnología de bajo carbono como lo son la eólica y la solar. Se admite el uso de esta tecnología en los países en desarrollo, como limpia y confiable, además que provee de electricidad para su desarrollo, fomentando la lucha de 1,3 mil millones de personas que carecen de acceso a la electricidad. La decisión también proporciona un conjunto de normas aceptadas internacionalmente para los proyectos de CCS, que trata de temas clave como la selección del sitio, la responsabilidad y la garantía del medio ambiente. Asimismo, establece un precedente importante para su inclusión en otros mecanismos de financiación y la tecnología de apoyo.

5.3. Distribución de MDL Global y en Latinoamérica

En marzo del 2010, se encontraron 4968 proyectos en el Portafolio Global MDL. América Latina (AL) fue la pionera en la generación de proyectos MDL, pero en los últimos años ha sido desplazada por los países asiáticos. Hacia el año 2003, AL albergaba el 40% de los proyectos mientras que Asia tan solo 21%. Sin embargo, AL sigue siendo vista como una región con gran potencial aún por explotar debido a su gran diversidad de recursos naturales y fuentes de energía. Al analizar las experiencias de algunos países de AL y abordar la problemática del mercado internacional de carbono[1], se concluye que los factores críticos para su despegue son:

- Desarrollo institucional público privado integrado,
- La promoción para la implementación de proyectos MDL,
- El agrupamiento de proyectos MDL,
- El desarrollo de capacidades técnico financieras y
- El desarrollo de mecanismos de comercialización.

A marzo del 2010, AL posee un total de 845 proyectos MDL entre registrados y en validación, como muestra la Figura 11.

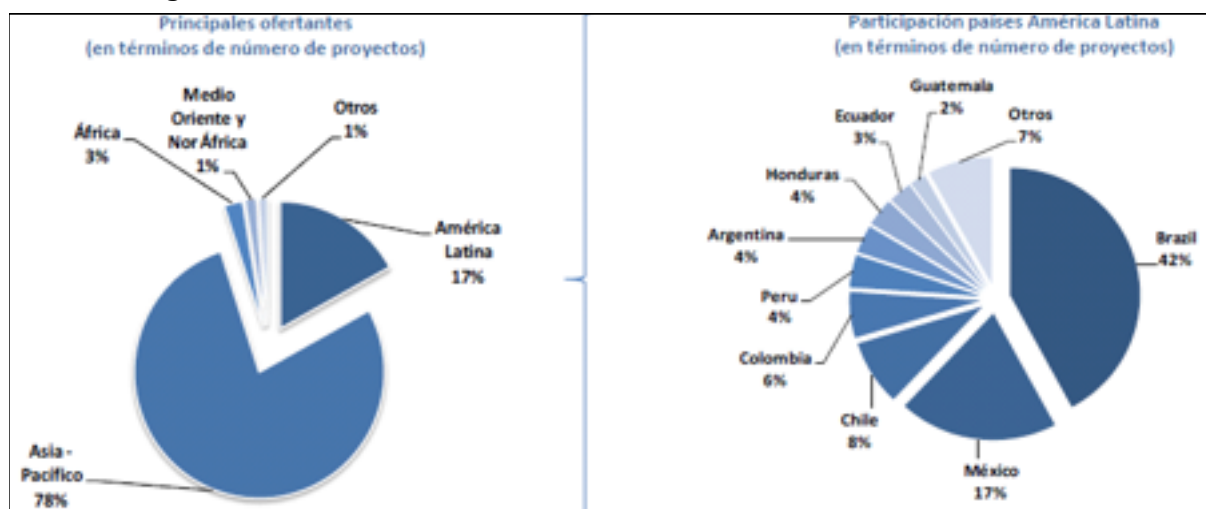


Figura 11. Distribución de MDL Global y en Latinoamérica. Fuente: Unep Risoe Centre. Elaboración: Prospectiva 2020.

6. Conclusiones

Este artículo intenta analizar el rol que juegan los proyectos del CCS, promoviendo tecnologías de bajo carbono, el CCS contribuye al portafolio de opciones de mitigación del cambio climático. Abordar

el cambio climático requiere de reflexiones sobre el modelo político y económico internacional actual, así como la reflexión fundamental del ser humano en la sociedad moderna. Las tendencias actuales en el suministro y en el uso de energía son claramente insostenibles, económica, ambiental y socialmente. La economía global de energía necesita ser transformada profundamente en las próximas décadas en términos de formas de suministro y consumo energético; con una mayor eficiencia energética, mayor uso de energía renovable y nuclear, CCS a escala masiva, y el desarrollo del transporte libre de carbono.

Se prevé que la matriz energética global se mantendrá bastante estable y dominado por los combustibles fósiles para 2030. Todas las fuentes de combustible, se expandirán, el carbón seguirá siendo la fuente de energía dominante a pesar de que las Energías Renovables ganen terreno, su importancia en la generación de electricidad en todo el mundo va a continuar, en las próximas dos décadas. Actualmente, el carbón tiene la más creciente demanda en países en desarrollo (China y la India), siendo China el país con más grande consumo, con una proyección total de 44% a nivel mundial en electricidad por carbón para el 2030. La combustión de carbón además de las emisiones de CO₂, es la principal fuente de emisiones de ácido clorhídrico (sustancia corrosiva) a la atmósfera. Es también una fuente importante de emisiones como material particulado, SO₂, NO_x.

El análisis FODA para el CCS muestra que a pesar de las debilidades y amenazas, las fortalezas y las oportunidades son mayores, sobre todo vislumbra grandes oportunidades de desarrollar tecnologías de captura y almacenamiento lo que creará nuevas oportunidades de negocio desde el punto de vista tecnológico.

Exigir la urgente implementación de nuevas políticas sin precedentes y de gran envergadura en el sector energético e industrial. El compromiso público y la educación también serán importantes para facilitar el acceso público a información clara y fiable sobre la tecnología CCS y su papel en la reducción global de emisiones, además de los costos y beneficios de un proyecto propuesto para la comunidad local. Esta tarea es urgente si queremos asegurarnos de que las decisiones de inversión tomadas ahora no nos ensillen con tecnologías sub-óptimas a largo plazo.

Los gobiernos deben primero promover la I&D del CCS, ya que son alternativas de una mayor eficiencia energética y del mayor uso de fuentes de energía bajas en carbono; además que constituye una solución transitoria que ofrece la posibilidad de realizar importantes reducciones en las emisiones de CO₂, sin tener que abandonar al combustible usado en la actual matriz energética, a corto plazo.

El mercado de carbono para los países es una oportunidad toda vez que:

- Permite mostrar el gran potencial en diferentes sectores para desarrollar proyectos que reduzcan emisiones de GEI.
- Los ingresos extraordinarios provenientes del MDL podrían ser un incentivo al financiamiento de estas nuevas inversiones.
- A través del MDL es posible contribuir al desarrollo sostenible gracias a la aplicación de proyectos que promuevan la transferencia de tecnología, el uso de las energías renovables, la generación de puestos de trabajo y la mejora de la calidad de vida de la sociedad.

La inclusión de la CCS en el MDL refleja la aceptación internacional final que el CCS es tan legítima tecnología de bajo carbono como lo son la eólica y la solar. Se admite el uso de esta tecnología en los países en desarrollo, como limpia y confiable, además que provee de electricidad para su desarrollo, fomentando la lucha de 1,3 mil millones de personas que carecen de acceso a la electricidad.

La madurez, la competitividad económica, la velocidad y el tiempo en que los proyectos de CCS estén disponibles dependerán de las políticas de cambio climático en gobiernos locales e internacionales. Hasta agosto del 2013, existen 65 proyectos de CCS integrados a gran escala LSIPs, la mayoría están en operación y en construcción, más de la mitad recientemente identificados se encuentran en China, con 12 proyectos en diferentes etapas de desarrollo. China posee una buena posición para influir en el éxito futuro del CCS, su inclusión en el 12^{avo} Plan Quinquenal refleja un fuerte compromiso para desarrollar e implementar esta tecnología. De los LSIPs, 30 se produjeron en el sector de generación

energética y la mayor parte de éstos se han previsto en aplicaciones para el carbón. En cuanto a la distribución por tecnología de captura la Post-combustión sigue siendo la más ampliamente elegida, representando el 43% de todos los proyectos de generación de energía con 13 proyectos. Los proyectos de generación de energía actualmente planificados estarán en operación para el 2017.

7. Referencias

- [1] Banco Mundial; Augusto de la Torre, Pablo Fajnzlber, John Nash; 2009; Desarrollo con Menos Carbono Propuestas Latinoamericanas al desafío del Cambio Climático
- [2] EDGAR 4.0 project of the European Commission's Joint Research Centre (JRC), the Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL); 2009; Trend assessment of global CO₂ emissions.
- [3] Global CCS Institute; 2013. The Global Status of CCS: 2013. Melbourne [Australia]: Global CCS Institute, 2013.
- [4] Global Methane; 2011; USA. Disponible en: [_www.epa.gov/globalmethane/pdf/2011-accomplish-report/usg_report_2011_3.Pdf](http://www.epa.gov/globalmethane/pdf/2011-accomplish-report/usg_report_2011_3.Pdf).
- [5] International Electricity Chief Executive Summit; 2008; Road - map for a Low Carbon Power Sector by 2050.
- [6] International Energy Agency IEA/OECD; 2008; Energy Technology Perspectives.
- [7] International Monetary Fund; 2012. The World Economic Outlook (WEO). U.S.
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC; 2005; Carbon Dioxide Capture and Storage. Cambridge University Press, 443p.
- [9] Jos G.J. Olivier ,Greet Janssens-Maenhout , Marilena Muntean, Jeroen A.H.W. Peters; 2013; Trends in global CO₂ emissions: 2013 Report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency Institute for Environment and Sustainability (IES) of the European Commission's Joint Research Centre.
- [10] Redrawing the Energy-Climate Map World Energy Outlook Special Report; 2013; OECD/IEA, 2013 International Energy Agency, Paris – France.
- [11] Stern Review: The Economics of Climate Change; 2006; UK. Disponible en <http://global-warning.org/main/documents/stern-review-the-economics-of-climate-change/>
- [12] U. Aswathanarayana; 2010; Deployment and role of technology learning. In: Green Energy Technology, Economics and Policy, Vienna, Austria: CRC Press Inc; p. 230–235.
- [13] What is carbon capture? : Mother Nature Network. 2011. Disponible en: <http://www.mnn.com/earth-matters/energy/stories/what-is-carbon-capture>.