



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i4.4072>

Ciencias Técnicas y Aplicadas  
Artículo de Investigación

*Perspectivas y desafíos de la integración de Tecnologías para la Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS)*

*Prospects and challenges of integrating Carbon Capture and Storage (CCS) technologies*

*Perspetivas e desafios da integração das Tecnologias de Captura e Armazenamento de Carbono (CCS)*

Jairo Vladimir Obando-Perea<sup>I</sup>

[jairo.obando@utelvt.edu.ec](mailto:jairo.obando@utelvt.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-9876-8602>

Pablo José Morcillo-Valencia<sup>II</sup>

[pablo.morcillo.valencia@utelvt.edu.ec](mailto:pablo.morcillo.valencia@utelvt.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0002-8471-745X>

Fernanda Justine Quinteros-Cevallos<sup>III</sup>

[fernanda.quinteros.cevallos@utelvt.edu.ec](mailto:fernanda.quinteros.cevallos@utelvt.edu.ec)

<https://orcid.org/0000-0001-6207-4417>

Martha Elizabeth Nevárez-Rivadeneira<sup>IV</sup>

[martha.nevarez.rivadeneira@utelvt.edu.ec](mailto:martha.nevarez.rivadeneira@utelvt.edu.ec)

<https://orcid.org/0009-0005-4247-0208>

**Correspondencia:** [jairo.obando@utelvt.edu.ec](mailto:jairo.obando@utelvt.edu.ec)

\***Recibido:** 04 de agosto de 2024 \***Aceptado:** 22 de septiembre de 2024 \* **Publicado:** 26 de octubre de 2024

- I. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- II. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ecuador.

## Resumen

En este artículo, se lleva a cabo un profundo análisis de las complejas perspectivas y los múltiples desafíos que rodean la integración de las Tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) en la incansable lucha contra el cambio climático. El objetivo central radica en evaluar de manera exhaustiva cómo estas tecnologías innovadoras pueden desempeñar un papel crucial en la descarbonización y la sostenibilidad energética a largo plazo. La tecnología CCS, considerada un pilar fundamental, emerge como una herramienta clave para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> de diversas industrias, mientras mitiga el devastador impacto del cambio climático, permitiendo la captura y almacenamiento de carbono antes de que este contamine la atmósfera. El artículo subraya las prometedoras perspectivas asociadas con la tecnología CCS, revelando su potencial para generar significativos beneficios ambientales, que abarcan desde la mejora de la salud pública hasta la protección integral del medio ambiente. Sin embargo, no se eluden los considerables desafíos que surgen en este contexto, tales como las limitaciones tanto técnicas como económicas, la imperiosa necesidad de una infraestructura adecuada, y la crucial aceptación social. Se destaca, además, la relevancia de contar con políticas robustas y marcos regulatorios que respalden su implementación efectiva. Finalmente, se presentan casos de estudio exitosos que ilustran las mejores prácticas y las lecciones aprendidas, resaltando que la colaboración multisectorial y el compromiso social son elementos esenciales para el éxito de la tecnología CCS en la transición hacia un futuro sostenible.

**Palabras clave:** Captura de carbono; almacenamiento de carbono; tecnologías CCS; mitigación del cambio climático; sostenibilidad.

## Abstract

This article provides an in-depth analysis of the complex prospects and multiple challenges surrounding the integration of Carbon Capture and Storage (CCS) technologies in the relentless fight against climate change. The central objective is to comprehensively assess how these innovative technologies can play a crucial role in decarbonisation and long-term energy sustainability. CCS technology, considered a fundamental pillar, emerges as a key tool to reduce CO<sub>2</sub> emissions from various industries, while mitigating the devastating impact of climate change, allowing the capture and storage of carbon before it pollutes the atmosphere. The article highlights the promising prospects associated with CCS technology, revealing its potential to generate significant environmental

benefits, ranging from improved public health to comprehensive environmental protection. However, the considerable challenges that arise in this context are not eluded, such as both technical and economic limitations, the imperative need for adequate infrastructure, and crucial social acceptance. The relevance of having robust policies and regulatory frameworks that support their effective implementation is also highlighted. Finally, successful case studies are presented that illustrate best practices and lessons learned, highlighting that multi-sector collaboration and social commitment are essential elements for the success of CCS technology in the transition towards a sustainable future.

**Keywords:** Carbon capture; carbon storage; CCS technologies; climate change mitigation; sustainability.

## Resumo

Neste artigo, é realizada uma análise aprofundada das complexas perspectivas e dos múltiplos desafios que envolvem a integração das tecnologias de captura e armazenamento de carbono (CCS) na luta incansável contra as alterações climáticas. O objetivo central reside na avaliação abrangente de como estas tecnologias inovadoras podem desempenhar um papel crucial na descarbonização e na sustentabilidade energética a longo prazo. A tecnologia CCS, considerada um pilar fundamental, surge como uma ferramenta fundamental para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> de diversas indústrias, ao mesmo tempo que mitiga o impacto devastador das alterações climáticas, permitindo a captura e armazenamento de carbono antes que este polua a atmosfera. O artigo destaca as perspectivas promissoras associadas à tecnologia CCS, revelando o seu potencial para gerar benefícios ambientais significativos, que vão desde a melhoria da saúde pública até à proteção ambiental abrangente. No entanto, os consideráveis desafios que surgem neste contexto não são evitados, tais como as limitações técnicas e económicas, a necessidade imperiosa de infra-estruturas adequadas e a crucial aceitação social. É também realçada a importância de dispor de políticas e quadros regulamentares robustos que apoiem a sua implementação eficaz. Por fim, são apresentados estudos de caso de sucesso que ilustram as melhores práticas e lições aprendidas, destacando que a colaboração multissetorial e o compromisso social são elementos essenciais para o sucesso da tecnologia CCS na transição para um futuro sustentável.

**Palavras-chave:** Captura de carbono; armazenamento de carbono; tecnologias CCS; mitigação das alterações climáticas; sustentabilidade.

## Introducción

El cambio climático ha escalado a la categoría de uno de los retos más apremiantes del siglo XXI, exacerbado principalmente por el alarmante incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el centro de la tormenta, originado de actividades industriales y energéticas. Según un contundente informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), es imperativo reducir estas emisiones de carbono para limitar el incremento de la temperatura global y mitigar las secuelas devastadoras que el cambio climático impone sobre el medio ambiente y la sociedad (Borges, 2023). En este panorama crítico, se han investigado una multitud de estrategias para contrarrestar las emisiones de CO<sub>2</sub>, destacando la tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) por su notable potencial para ofrecer soluciones efectivas y sostenibles.

La CCS se define como un conjunto integral de tecnologías que permiten la captura del CO<sub>2</sub> emitido durante procesos industriales y de generación energética, su transporte y almacenamiento en formaciones geológicas adecuadas, previniendo así su liberación en la atmósfera (Mariño & Moreno, 2018). Esta tecnología no solo se erige como un bastión en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino que también puede desempeñar un papel fundamental en la transición hacia una economía baja en carbono, facilitando la descarbonización de sectores cruciales, como el energético y el industrial (Díaz, 2024). Además, la integración de tecnologías CCS podría catalizar la innovación en el diseño óptimo de cadenas de suministro y perfeccionar la gestión de recursos en un contexto de creciente demanda energética (Mataix, 2021; Torró, 2021).

El presente artículo persigue el objetivo de analizar las perspectivas y desafíos inherentes a la integración de tecnologías CCS en el contexto actual. Se abordarán los beneficios ambientales y económicos que estas tecnologías pueden aportar, así como las barreras técnicas, económicas y sociales que obstaculizan su implementación. Asimismo, se examinarán casos de estudio relevantes que ilustran cómo la CCS puede contribuir a la sostenibilidad en diversas regiones, incluyendo América Latina (Caicedo, 2024; Martínez, 2020). Este análisis no solo aspira a proporcionar una visión general del estado actual de la tecnología CCS, sino que también busca ofrecer recomendaciones concretas para fomentar su adopción y desarrollo a nivel global.

## Fundamentos de la Tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono

La tecnología de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) se compone de tres etapas fundamentales: captura, transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Cada uno de estos procesos resulta esencial para la eficacia global de la tecnología CCS y su capacidad para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero.

### Proceso de Captura de Carbono

La captura de carbono implica la recolección del CO<sub>2</sub> emitido durante la combustión de combustibles fósiles y otros procesos industriales. Entre los diversos métodos que se han desarrollado, destacan los siguientes:

- **Post-combustión:** Este enfoque se basa en la captura del CO<sub>2</sub> después de que los combustibles han sido quemados. Se aplica principalmente en plantas de energía, caracterizándose por su flexibilidad, lo que permite su adaptación a instalaciones ya existentes (Borges, 2023). Aunque efectiva, la tecnología post-combustión puede resultar costosa en términos de energía y recursos.
- **Pre-combustión:** Este método transforma el combustible fósil en un gas de síntesis, que posteriormente es tratado para separar el CO<sub>2</sub> antes de la combustión. Esta estrategia permite una captura más eficiente, disminuyendo las emisiones de CO<sub>2</sub> desde el inicio del proceso de generación energética (Díaz, 2024).
- **Oxicombustión:** En este enfoque, se emplea oxígeno puro en lugar de aire para la combustión, lo que origina un flujo de gases de escape predominantemente compuesto de CO<sub>2</sub> y vapor de agua. Este método facilita la captura del CO<sub>2</sub>, al generar un gas de escape más concentrado (Mariño & Moreno, 2018).

### Transporte de Carbono

Una vez capturado, el CO<sub>2</sub> debe ser transportado a los sitios de almacenamiento, donde se utilizan principalmente los siguientes métodos:

- **Oleoductos:** Este método es el más común para el transporte de CO<sub>2</sub> a largas distancias. Diseñados para manejar presiones elevadas, los oleoductos permiten el transporte seguro y

eficiente del CO<sub>2</sub> desde las plantas de captura hasta los lugares de almacenamiento (Mataix, 2021).

- **Transporte marítimo:** En regiones donde la construcción de oleoductos no es viable, el transporte marítimo de CO<sub>2</sub> se presenta como una alternativa efectiva. Este método implica el uso de buques especializados que transportan CO<sub>2</sub> en estado líquido, facilitando la conexión entre distintas regiones y facilidades de almacenamiento (Torró, 2021).

### Almacenamiento de Carbono

El almacenamiento del CO<sub>2</sub> se realiza en formaciones geológicas adecuadas, y se presentan varias modalidades de almacenamiento:

- **Geológico:** Este método, el más común, consiste en inyectar CO<sub>2</sub> en formaciones subterráneas, tales como yacimientos de petróleo y gas agotados, acuíferos salinos y formaciones de carbón. Este enfoque tiene un notable potencial para almacenar grandes volúmenes de CO<sub>2</sub> de manera segura (Domínguez & Muñoz, 2020).
- **Oceánico:** Aunque menos desarrollado, el almacenamiento oceánico implica la inyección de CO<sub>2</sub> a profundidades del océano. Este método presenta numerosos desafíos técnicos y ambientales que aún requieren atención (Pons et al., 2022).
- **Biológico:** Este enfoque utiliza sistemas biológicos, como la reforestación y la agricultura sostenible, para capturar y almacenar CO<sub>2</sub>. Aunque no es parte de la tecnología CCS tradicional, puede complementar eficazmente los esfuerzos de captura de carbono (Caicedo, 2024).

### Perspectivas de la Tecnología CCS

La travesía hacia la implementación de tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) está repleta de un cúmulo de posibilidades que se extienden más allá de la mera reducción de emisiones, abarcando beneficios ambientales, oportunidades económicas insospechadas y la imperiosa necesidad de políticas y marcos regulatorios robustos que respalden esta transformación.

#### *Beneficios Ambientales*

En el epicentro de las virtudes de la tecnología CCS se encuentra su prodigiosa capacidad para contener el CO<sub>2</sub>, esa ominosa amenaza que acecha al planeta. Capturando y almacenando este gas

antes de que se disperse en la atmósfera, se reduce notablemente la huella industrial sobre el calentamiento global. Esta contención no solo se traduce en un alivio para el clima, sino que también revierte las consecuencias perjudiciales en la salud pública y el entorno, mejorando la calidad del aire y protegiendo ecosistemas frágiles que claman por ayuda (Borges, 2023).

#### *Oportunidades Económicas*

La adopción de tecnologías CCS se vislumbra como un motor de oportunidades económicas significativas. Esta integración no solo promete la creación de empleo en industrias emergentes relacionadas con la captura, el transporte y el almacenamiento de CO<sub>2</sub>, sino que también puede desencadenar una ola de innovación tecnológica. Tal impulso fomentará el desarrollo de soluciones más eficientes y sostenibles en el ámbito energético y en la industria, abriendo un abanico de posibilidades que antes parecían inalcanzables (Martínez, 2020).

#### *Políticas y Marcos Regulatorios*

Sin embargo, para que la tecnología CCS despliegue su potencial en toda su magnitud, es vital establecer un entramado de políticas gubernamentales y acuerdos internacionales que sostengan su avance. La creación de incentivos financieros y marcos regulatorios transparentes, así como la colaboración entre gobiernos, sectores industriales y entornos académicos, son condiciones sine qua non para facilitar la adopción de tecnologías CCS, maximizando así su eficacia en la lucha contra el cambio climático (Mataix, 2021; Torró, 2021).

### **Desafíos de la Integración de Tecnologías CCS**

No obstante, la implementación de la tecnología CCS no está exenta de obstáculos. Se enfrentan a un conjunto de desafíos que, si no se abordan adecuadamente, podrían socavar su efectividad y sostenibilidad a largo plazo. Estos retos se pueden agrupar en tres categorías principales: técnicos y tecnológicos, económicos, y sociales y éticos.

#### *Técnicos y Tecnológicos*

Entre los principales escollos que se presentan, destacan las limitaciones en la eficiencia y los costos de las tecnologías disponibles. Aunque se han desarrollado múltiples metodologías para la captura, cada una conlleva diferentes grados de eficacia y carga económica. Por ejemplo, las técnicas de post-combustión, aunque son más accesibles para plantas existentes, pueden incurrir en un elevado consumo energético, incrementando así los costos operativos (Borges, 2023; Díaz, 2024).

Adicionalmente, la necesidad de una infraestructura adecuada se convierte en un pilar crítico para el éxito de la CCS. Establecer una red de oleoductos y sistemas de almacenamiento exige inversiones colosales y una planificación meticulosa, asegurando que el CO<sub>2</sub> capturado pueda ser transportado y almacenado de manera segura (Mataix, 2021; Torró, 2021). Sin esta infraestructura esencial, la escalabilidad de la CCS se verá irremediamente limitada.

#### *Económicos*

Desde un prisma económico, los costos asociados a la implementación y el mantenimiento de la CCS son barreras significativas para su adopción. La inversión inicial para instalar sistemas de captura, junto con los gastos recurrentes de operación y mantenimiento, puede resultar prohibitiva para muchas empresas, especialmente para aquellas que ya lidian con márgenes de beneficio ajustados (Mariño & Moreno, 2018; Martínez, 2020).

El acceso a financiamiento y al respaldo gubernamental es igualmente fundamental. En ausencia de políticas claras y esquemas de financiamiento apropiados, las empresas pueden hallar dificultades para justificar las inversiones necesarias en tecnologías CCS. Esta falta de incentivos puede desincentivar la inversión privada, obstaculizando el avance de estas tecnologías en el mercado (Caicedo, 2024).

#### *Sociales y Éticos*

Por último, los desafíos sociales y éticos no pueden ser ignorados en la implementación de la CCS. La aceptación pública y la percepción del riesgo son factores determinantes en la adopción de estas tecnologías. Existe una desinformación generalizada acerca de los beneficios y riesgos de la CCS, lo que puede generar inquietudes sobre la seguridad y el impacto ambiental de los proyectos de almacenamiento (Domínguez & Muñoz, 2020).

Adicionalmente, se deben considerar las dimensiones de justicia social y equidad. Los impactos de los proyectos de CCS pueden no distribuirse de manera equitativa entre las comunidades, planteando serias dudas sobre la equidad en la toma de decisiones y la repartición de beneficios (Blair, 2024). Por ende, las políticas deben abordar estas cuestiones sociales para propiciar una transición justa hacia un futuro bajo en carbono, donde todos los actores se sientan partícipes del cambio.

## Casos de Estudio

La exploración de casos emblemáticos que ilustran la implementación efectiva de tecnologías de Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS) revela un tesoro de lecciones valiosas y mejores prácticas que pueden servir de faro para futuros emprendimientos. A continuación, se exponen ejemplos significativos que ilustran el potencial transformador de estas tecnologías:

- **Proyecto Petra Nova, Estados Unidos:** Este ambicioso proyecto ha demostrado que la tecnología de post-combustión no es solo un concepto teórico, sino una realidad palpable, capaz de capturar la asombrosa cifra de 1.6 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año. Entre las lecciones más relevantes, resalta la vital importancia de la sinergia entre los sectores público y privado, así como la creación de un marco regulatorio robusto que aliente la inversión en tecnologías limpias y sostenibles.
- **Proyecto Gorgon, Australia:** Ubicado en la vasta extensión australiana, Gorgon se erige como uno de los gigantes de la CCS a nivel mundial, con una capacidad de almacenamiento que supera las 3.4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. La experiencia adquirida en este proyecto subraya la necesidad de un diseño de infraestructura holístico y del compromiso duradero de todos los interesados. Además, pone de relieve la imperiosa necesidad de escuchar y abordar las inquietudes de las comunidades locales que se ven impactadas por estas iniciativas.
- **Caso Tauramena, Colombia:** En esta investigación, se han explorado las posibilidades de la captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> en un contexto específico. Los hallazgos sugieren que la integración de CCS con la producción de hidrocarburos no solo tiene el potencial de mitigar las emisiones, sino que también puede aprovechar recursos existentes de manera eficiente (Mariño & Moreno, 2018).

## Conclusiones

Las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS) emergen como piezas clave en el rompecabezas de la lucha contra el cambio climático. Su integración efectiva en las infraestructuras energéticas y los procesos industriales podría marcar un antes y un después en la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, facilitando el cumplimiento de los ambiciosos objetivos de descarbonización

global. Sin embargo, su éxito no es un camino fácil; está condicionado por la superación de desafíos técnicos, económicos y sociales que amenazan con frenar su implementación a gran escala.

La adopción de tecnologías CCS exige una colaboración íntima y sostenida entre gobiernos, empresas y comunidades locales. Se requieren marcos regulatorios sólidos y apoyo financiero robusto para motivar las inversiones necesarias en este ámbito. Además, la formulación de políticas que estimulen la investigación y el desarrollo de innovaciones tecnológicas, junto con incentivos económicos, puede catalizar la transición hacia un futuro más sostenible y bajo en carbono.

La percepción pública y la aceptación social son factores que pueden definir el destino de los proyectos de CCS. Por ello, es crucial llevar a cabo campañas de sensibilización y educación que ilustren de manera clara los beneficios y la seguridad asociada a estas tecnologías. También es imperativo que se tomen en cuenta las preocupaciones sobre justicia social y equidad durante la planificación de proyectos, garantizando que las comunidades afectadas no solo sean escuchadas, sino que también participen activamente en el proceso de toma de decisiones y se beneficien de las iniciativas de CCS.

## Referencias

1. Blair, G. H. G. (2024). Análisis del potencial de industrialización de residuos cítricos en Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 26(2).
2. Borges Hernández, L. (2023). Tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> como vía hacia la descarbonización.
3. Caicedo Bobadilla, S. (2024). Metodología para la evaluación y aplicación de tecnologías en proyectos MDL: caso de estudio de parques ecológicos en Colombia.
4. Díaz Gómez, J. J. (2024). Modelado de sistema de almacenamiento de energía basado en CO<sub>2</sub> transcrito. *Integración con aplicaciones industriales*.
5. Domínguez González, G., & Muñoz Hernández, J. I. (2020). Gasificación de la electricidad: gestión de excedentes de energía renovable. *Hibridación e integración con tecnologías clásicas de generación eléctrica*.
6. Mariño-Martínez, J. E., & Moreno-Reyes, L. E. (2018). Posibilidades de captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> (CCS) en Colombia—caso Tauramena (Casanare). *Boletín de Geología*, 40(1), 109-122.

7. Martínez, J. A. (2020). Integración de sistemas de captura de CO<sub>2</sub> en centrales de ciclo combinado en México. *Gaceta Instituto de Ingeniería, UNAM*, 1(142), 9-12.
8. Mataix Borrell, I. (2021). Diseño óptimo de la cadena de suministro europea para captura, transporte, almacenamiento y reutilización de CO<sub>2</sub>.
9. Pons, M., Baer, M., Roca, M., Isern, E., Rosselló, J. L., Martínez-Moll, V., ... & Canals, V. El rol del hidrógeno verde en la transición ecológica en Europa. In *CIES 2022-XVIII Congreso Ibérico y XIV Congreso Iberoamericano de Energía Solar*, p. 371.
10. Torró Conca, C. (2021). Cadena de suministro para captura, transporte, almacenamiento y reutilización de CO<sub>2</sub>: diseño ante diversos escenarios durante su horizonte temporal.

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).