

Impacto de las medidas y/o tecnologías de Remoción de Dióxido de Carbono sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe



Resumen para responsables de políticas

Joseluis Samaniego
Kai-Uwe Schmidt
Hernán Carlino
Luciano Caratori
Micaela Carlino
Agustín Gogorza
Alfonso Rodríguez Vagaría
Gabriel Vázquez Amábile



NACIONES UNIDAS



Financiado por
la Unión Europea



An initiative of
CARNEGIE
COUNCIL for Ethics in
International Affairs

Impacto de las medidas y/o tecnologías de Remoción de Dióxido de Carbono sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe.

Resumen para responsables de políticas.

Este documento fue elaborado bajo la coordinación de Joseluis Samianego, de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Kai-Uwe Schmidt, de la Carnegie Climate Governance Initiative (C2G). En su elaboración participaron Hernán Carlino, Luciano Caratori, Micaela Carlino, Agustín Gogorza, Alfonso Rodríguez Vagaría y Gabriel Vázquez Amábile, de la Fundación Torcuato Di Tella. Los autores agradecen a las siguientes personas por sus comentarios, sugerencias, revisiones y aportes al documento: Estefani Rondón, José Javier Gómez y Jimy Ferrer, de la CEPAL, Nicholas Harrison, Alia Hassan y Michael Thompson, de C2G.

Este informe fue financiado por C2G, una iniciativa del Carnegie Council for Ethics and International Affairs, y elaborado en colaboración con la CEPAL y el Programa Euroclima +.

Descargo de responsabilidad

Las opiniones expresadas en este documento, que ha sido reproducido sin edición formal, son las de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de la CEPAL o del C2G.

Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y en cualquier forma con fines educativos o sin fines de lucro sin permiso especial de C2G o CEPAL, siempre que se reconozca o se haga referencia a la fuente.

Derechos de autor

© CCEIA/C2G y Naciones Unidas, 2021

Signatura CEPAL: LC/TS.2021/82

Cita recomendada

Esta publicación debe citarse como: Samianego, Schmidt, Carlino y otros, “Impacto de las medidas y/o tecnologías de Remoción de Dióxido de Carbono sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe. Resumen para responsables de políticas”, Carnegie Climate Governance Initiative (C2G)/Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), marzo de 2021.



Financiado por
la Unión Europea



Resumen para responsables de políticas

El estudio sobre el “Impacto de las medidas y/o tecnologías de Remoción de Dióxido de Carbono (RDC) sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en América Latina y el Caribe (ALC)” responde a una solicitud realizada a finales de 2020 por la Carnegie Climate Governance Initiative (C2G) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) a la Fundación Torcuato Di Tella. Se consideraron los opciones de RDC, respetando la categorización previa de C2G y considerando las definiciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en esta materia.

Figura 1: Clasificación de opciones de Remoción de Dióxido de Carbono (RDC)

<p>Afforestation and forest ecosystem restoration</p>	<p>Forestación y reforestación</p> <p>Plantación de bosques y restauración de ecosistemas que resultan en el almacenamiento a largo plazo de carbono en la biomasa o debajo del suelo</p>	<p>Enhanced weathering and ocean alkalinity</p>	<p>Intemperización reforzada y Alcalinización del Océano</p> <p>Aumento de la meteorización natural de las rocas mediante la extracción, molienda y dispersión de minerales, que absorben carbono en la tierra, o agregando minerales alcalinos al océano para mejorar la captura de carbono</p>
<p>Bio-energy with carbon capture and storage</p>	<p>Bioenergía con captura y almacenamiento de dióxido de carbono (BECCS)</p> <p>Quema de biomasa para generar energía, y luego capturar y almacenar permanentemente el CO₂ resultante de esa combustión.</p> <p>El alcance de este estudio excluye BECCS en bioetanol.</p>	<p>Direct air capture and storage</p>	<p>Captura directa de dióxido de carbono del aire y almacenamiento (DACCS)</p> <p>Captura de CO₂ directamente del aire, mediante un proceso químico, seguido de su almacenamiento permanente o su eventual uso</p>
<p>Enhancing soil carbon content</p>	<p>Restauración de la tierra y secuestro de carbono en el suelo (Biochar)</p> <p>Quema de biomasa en condiciones de bajo oxígeno (pirolisis) produce biocarbón (biochar) o carbón vegetal, que luego se agrega al suelo para mejorar la capacidad de absorción de carbono</p>	<p>Ocean fertilization</p>	<p>Fertilización de los Océanos (FO)</p> <p>Fertilización de los ecosistemas oceánicos para acelerar el crecimiento del fitoplancton, absorbiendo carbono de la atmósfera hasta el fondo marino</p>

Fuente: C2G (2018). Honegger, M. et al. *Carbon Removal and Solar Geoengineering Potential implications for delivery of the Sustainable Development Goals. C2G2 Report. May 2018.*

Las referencias al contexto en el que deben considerarse los resultados del informe remiten a una caracterización muy sucinta de los principales elementos contextuales, desde una perspectiva científica y también de sus implicancias en el régimen climático internacional en el marco del Acuerdo de París, que podrían definir las condiciones de frontera para la integración de esos resultados en una posición nacional de política climática. Entre ellas las siguientes:

- El objetivo global de temperatura de largo plazo inscripto en el Acuerdo de París debe ser alcanzado mediante un balance entre emisiones de gases efecto invernadero (GEI) por las fuentes y la **remoción por los sumideros, en la segunda mitad de este siglo.**
- La mayor parte de los escenarios concebidos para alcanzar el Acuerdo de París contemplan el uso de tecnologías negativas en emisiones, entre ellas se destacan especialmente la generación de bioenergía con captura y almacenamiento de carbono y la forestación y reforestación (IPCC, 2015).
- El Reporte Especial del IPCC “Global Warming of 1.5°C” muestra que todas las trayectorias de emisiones con un límite de 1.5°C requieren la remoción a gran escala de dióxido de carbono en el corto plazo, además de la reducción directa de emisiones (IPCC, 2018).
- Las medidas y tecnologías de RDC son necesarias para lograr trayectorias compatibles con el límite de 1.5°C, pero el número y la escala de las intervenciones varía según las diferentes trayectorias

planeadas; si se logran elevadas reducciones de emisiones de GEI en el corto a mediano plazo disminuye la necesidad de un despliegue considerable de las tecnologías RDC.

- Es necesario asegurar que los posibles impactos, ambientales, sociales y económicos de la introducción de las tecnologías RDC, que requieren el soporte de políticas públicas para su implementación, estén alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Este informe sintetiza el mejor entendimiento de las potenciales implicaciones de la adopción de opciones basadas en la naturaleza y tecnologías para la remoción de dióxido de carbono, con el objetivo de complementar la reducción directa de emisiones de GEI.

Los hallazgos obtenidos se basan en la revisión de la literatura científica y técnica disponible y abordan las implicancias económicas, sociales y ambientales de la implementación de las opciones tecnológicas de RDC. Las implicaciones son examinadas de cara al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y la contribución a la mitigación de cambio climático que la implementación de las RDC pueda tener en Argentina y Colombia, y de modo más general en América Latina y el Caribe. El análisis realizado permite identificar las brechas de conocimiento y formular recomendaciones y especificar opciones, para que los gobiernos de la región puedan considerarlas al tomar decisiones que contemplen la inclusión de opciones de RDC en las estrategias nacionales de cambio climático que contribuyan al logro de los ODS, las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) y los planes de recuperación verde. Los resultados también demuestran la necesidad de realizar nuevas investigaciones para reducir las brechas de conocimiento existentes y fomentar el progreso en la disponibilidad de información científica y técnica que facilite a los gobiernos de la región la toma de decisiones informadas. El análisis de impactos se enfrenta a ciertos retos que podrían tener incidencia en la exactitud y certeza de los resultados obtenidos:

Figura 2: Limitaciones del análisis



Fuente: Elaboración propia

Este resumen para responsables de política se estructura en dos partes: A) Principales hallazgos del estudio, B) Recomendaciones para el potencial despliegue a gran escala de medidas y/o tecnologías de RDC. Se incluye un apéndice con recomendaciones de líneas de trabajo para futuras investigaciones.

A. Principales hallazgos del estudio

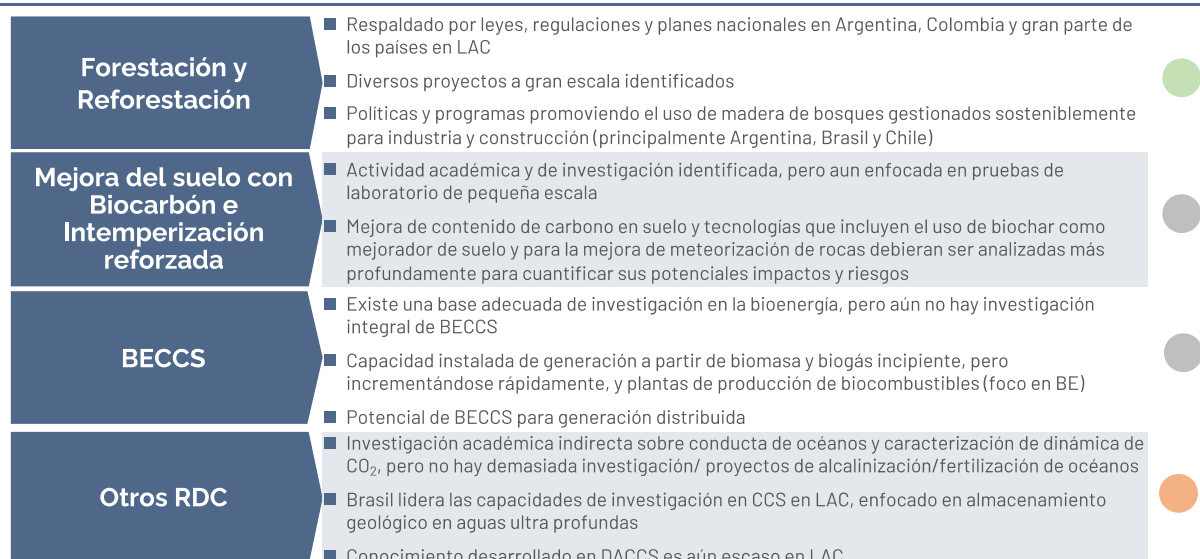
Brechas de conocimiento, planificación e implementación

En general, y con raras excepciones, se ha identificado una brecha significativa de conocimiento y desarrollo empírico de medidas y/o tecnologías de RDC en los países de ALC:

- Los esfuerzos de los países de ALC en materia de mitigación del cambio climático se concentran principalmente en la reducción directa de emisiones de GEI y en la sustitución de combustibles fósiles, y sólo de manera muy incipiente se están considerando los esfuerzos de eliminación del dióxido de carbono del aire.
- Se esperaría que el despliegue de opciones de RDC a gran escala tuviera efectos secundarios y repercusiones socioeconómicas o, incluso, de gobernanza que puedan afectar de diferentes maneras al logro de los ODS.
- Hasta ahora no se han explorado ni comprendido suficientemente desde la perspectiva de la planificación, las repercusiones más amplias de la introducción de las medidas y/o tecnologías de RDC en la contribución u obstaculización de los esfuerzos de desarrollo sostenible.
- Los países de ALC se enfrentan a un persistente déficit de financiamiento climático; la decisión sobre el posible desarrollo de estas opciones requeriría una información precisa sobre los costos de abatimiento de cada una de ellas y un examen cuidadoso de los riesgos de su aplicación, a fin de evitar una inadecuada asignación de recursos en I+D en estas tecnologías, que son escasos.
- Se debe realizar un esfuerzo integral de investigación y desarrollo técnico para cada medida y/o tecnología.

La Forestación y Reforestación y la Mejora del suelo con Biocarbón son las opciones de RDC más exploradas en la investigación científica en ALC.







Figura 3: Brechas de conocimiento, planificación e implementación de opciones RDC en ALC




Fuente: Elaboración propia en base a revisión de información y calificaciones

Para el análisis en Argentina y Colombia, se aplicó un enfoque metodológico propio, elaborado a partir de la metodología antes aplicada por C2G [Honegger, et al 2018], considerando tres dimensiones diferentes para determinar el estado actual de: i) conocimiento científico y técnico, ii) adopción de estas medidas en la planificación, y iii) aplicación empírica de los opciones RDC seleccionados en dichos países.


Figura 4: Estado actual del conocimiento y el desarrollo de RDC en Argentina y Colombia

	Forestación	BECCS	Biocarbón	IR & Alc. Océanos	DACCS	Fert. Océanos
Conocimiento científico y técnico						
Tendencias en planes de gobierno						
Implementación de iniciativas y proyectos						
	Forestación	BECCS	Biocarbón	IR & Alc. Océanos	DACCS	Fert. Océanos
Conocimiento científico y técnico						
Tendencias en planes de gobierno						
Implementación de iniciativas y proyectos						

 No desarrollado

 En desarrollo no directamente/parcialmente relacionado a RDC

 Menos de 10 artículos/Programas aún no ejecutados/Iniciativas de pequeña escala

 Más de 10 artículos/Programas en ejecución o ejecutados/Iniciativas de gran escala completos

Fuente: Elaboración propia en base a revisión de información y calificaciones

A pesar de que el conocimiento desarrollado en los países de ALC sobre la Captura directa de dióxido de carbono del aire y almacenamiento (DACCS por sus siglas en inglés - Direct Air Carbon Dioxide Capture and Storage) es casi nulo, se realizó un análisis cualitativo basado en la literatura internacional disponible:

- Dada su etapa inicial de desarrollo y el número muy limitado de intervenciones empíricas, el despliegue de esta tecnología a escala parece constituir todavía un desafío considerable, y coexisten perspectivas optimistas y pesimistas.
- En una transición hacia emisiones netas iguales a cero, DACCS es actualmente una de las escasas opciones tecnológicas disponibles para eliminar CO2 directamente de la atmósfera.
- Según una investigación realizada en la Unión Europea, el costo de DACCS debe disminuir al menos en un orden de magnitud con respecto a su valor actual para que esta opción sea viable financiera y económicamente.
- DACCS debe demostrarse a una escala relevante para reducir la incertidumbre con respecto a su potencial y a los costos de su implementación futura.
 - A nivel mundial existen varias plantas DACCS (principalmente plantas piloto) con una capacidad combinada que no supera las 10,000 toneladas de CO₂ por

- año. Las localizaciones incluyen Europa, Estados Unidos y Canadá, pero ninguna de ellas se encuentra en América Latina.
- Se espera que la primera planta DACCS de gran escala (con capacidad de 1 millón de toneladas de CO₂/año) comience a construirse en Estados Unidos, pero no antes de 2022.
 - La demostración a gran escala de opciones de RDC como DACCS requerirá apoyo gubernamental específico y para ello, previamente, un robusto análisis costo-beneficio.

Análisis de Impactos - Argentina y Colombia

Esta sección resume la estimación de los impactos del despliegue a gran escala de las medidas y/o tecnologías de RDC seleccionados para su análisis en Argentina y Colombia, según los escenarios definidos. Se identificaron relaciones entre las variables macro e intrasectoriales para cada medida y/o tecnología de RDC y para cada país, estimando los impactos a largo plazo del despliegue de estas opciones en las variables clave que contribuyen al logro de los ODS.


Algunas de las opciones de RDC analizadas en este estudio (como DACCS, intemperización reforzada, alcalinización oceánica y fertilización oceánica), no fueron evaluadas en mayor profundidad debido a la falta de información para un modelado preciso. Al corto y mediano plazo, la demostración a gran escala de estas medidas y/o tecnologías de RDC requerirá apoyo gubernamental específico.

Impactos en Argentina

- La adopción de una hoja de ruta de descarbonización profunda en Argentina requiere profundizar los esfuerzos en sectores clave, implementando transiciones en los sectores de energía, transporte y agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU, por sus siglas en inglés). En este contexto, la forestación y reforestación integran una estrategia central de mitigación para reducir las emisiones netas a la vez que permitir la remoción a gran escala. Se estima que la forestación podría eliminar un promedio de más de 15 Mega toneladas de CO₂ equivalente por año durante el período 2020-2050, en un escenario plausible con un máximo de 80 mil hectáreas plantadas por año. La implementación de esta medida es consistente con las sendas de descarbonización previstas por las políticas climáticas nacionales.
- La forestación y reforestación presentan el costo más bajo por tonelada secuestrada (6 USD/tonCO₂eq) y la mayor remoción de emisiones para Argentina, y debieran ser priorizadas ya en el corto plazo. A pesar de su bajo costo de abatimiento, los escenarios estiman inversiones de alrededor de 60-100 millones de USD/año y proporcionan una fuente considerable de empleo directo. Si se lograra un desarrollo significativo de la cadena de valor industrial de la madera podrían esperarse además mayores inversiones, impactos positivos más significativos en el empleo y en el Producto Interno Bruto (PIB).

- Los cambios en las prácticas de producción ganadera, en particular las que aumentan el contenido de carbono del suelo, pueden proporcionar opciones tecnológicas adicionales para aumentar la ambición en la mitigación incluso a corto y medio plazo.
- De manera similar, los cambios en las prácticas agrícolas actuales que se encuentran evolucionando, y, por lo tanto, son técnica y culturalmente factibles, pueden contribuir a reducciones incrementales de emisiones.

Tabla 1: Impacto en variables clave del despliegue de opciones de RDC – Argentina

		Potencial de emisiones GHG (secuestradas)	Inversión promedio requerida	Costo	Cambios neto en creación de empleo	Contribución al PIB
		Mega t CO ₂ /año	MM USD/año	USD / t CO ₂	# empleos creados/ Mega t CO ₂ seq	Δ MMUSD PIB / Mega t CO ₂ seq
Forestación y Reforestación	Base	5.6 (prom.) 7.7 (2050)	29 (prom.)	5.1	73 directos 117 indirectos	22
	Esc1	10.3 (prom.) 11.3 (2050)	59 (prom.)	5.6	80 directos 127 indirectos	24
	Esc2	15.9 (prom.) 14.4 (2050)	100 (prom.)	6.1	85 directos 136 indirectos	26
BECCS	Base	Solo bionergía, sin adopción de CCS en escenario base				
	Esc1	0.1 (prom.) 0.3 (2050)	35 (prom.)	256.5	733 permanente 258 constr.	1,075
	Esc2	0.7 (prom.) 2.0 (2050)	163 (prom.)	239	1,037 permanente 360 constr.	1,000
Biocarbón	Base	Escenario base sin despliegue de biocarbón alguno				
	Esc1	0.1 (prom.) 0.2 (2050)	3 (prom.)	25.4	102 industrial	110
	Esc2	1.5 (prom.) 2.5 (2050)	30 (prom.)	19.3	77 industrial	84


Fuente: Elaboración propia
MMUSD: millones de US dólares

- La aplicación de biocarbón en los suelos podría secuestrar hasta 2.5 Mega toneladas de CO₂eq por año para el 2050, considerando solo los cultivos de árboles frutales. Una mayor expansión a otros cultivos intensivos, y luego a cultivos extensivos, podría entregar un potencial adicional, a explorar con mayor investigación y la implementación de proyectos piloto. Además, la implementación de biocarbón presenta el segundo menor costo de reducción entre las opciones de RDC examinadas para Argentina.
- Respecto de la Bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS), existe incertidumbre sobre su viabilidad y velocidad de despliegue. La fase de CCS está mayormente ausente de la NDC de Argentina y ocupa un lugar de reducida prioridad entre las opciones de inversión. Se estima que BECCS podría secuestrar hasta 2 Mega toneladas de CO₂eq por año para el 2050, con más de 1.300 megavatios (MW) de capacidad instalada adicional.
- El despliegue de BECCS a mediano plazo implica grandes inversiones en instalaciones industriales intensivas en capital y, por lo tanto, exhibe altos multiplicadores de PIB y empleo. Sin embargo, entre las opciones de RDC analizadas, BECCS es todavía una tecnología inmadura en Argentina con el mayor costo de abatimiento (240 a 260 USD/ton CO₂eq).

Impactos en Colombia

- Un mayor control de la deforestación es clave para reducir las emisiones de GEI de la Argentina. Más aún, dada la necesidad de producir mayor cantidad de alimentos y biomasa mediante la intensificación sostenible de la agricultura y de la producción ganadera, disminuir la deforestación surge como un imperativo para facilitar la adopción de un sendero de descarbonización profunda y, a la vez, una producción alimentaria sostenible a largo plazo.
- La forestación y reforestación también presenta el mayor potencial de remoción de emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, con un promedio de más de 13 Mega toneladas de CO₂eq por año en el período 2020-2050.
- Colombia se encuentra entre los 20 principales países del mundo en términos de cobertura de manglares, con casi 300.000 ha de manglares en las costas del Pacífico y el Caribe. Los manglares son reconocidos por su alta capacidad de captura de carbono por unidad de superficie en comparación con los bosques terrestres. La restauración de manglares a una tasa anual del 0,7% (58 mil ha restauradas en los próximos 30 años) permitiría secuestrar hasta 3 Mega toneladas de CO₂eq por año, con inversiones y costos relativamente bajos por tonelada de CO₂.

Tabla 2: Impacto en variables clave del despliegue de opciones de RDC – Colombia

		Potencial de emisiones GHG (secuestradas)	Inversión promedio requerida	Costo	Cambios neto en creación de empleo	Contribución al PIB
		Mega t CO ₂ /año	MM USD/año	USD / t CO ₂	# empleos creados/ Mega t CO ₂ seq	Δ MMUSD PIB / Mega t CO ₂ seq
Forestación y reforestación	Base	4.7 (prom.) 6.3 (2050)	48 (prom.)	9.7	76 directos 122 indirectos	62
	Esc1	7.5 (prom.) 8.1 (2050)	78 (prom.)	10.1	74 directos 118 indirectos	65
	Esc2	13.4 (prom.) 12.0 (2050)	144 (prom.)	10.5	66 directos 106 indirectos	67
Restauración manglares	Base	Restauración de manglares nula o marginal en Colombia				
	Esc1	0.4 (prom.) 0.8 (2050)	5 (prom.)	11.1	65 directos	69
	Esc2	1.4 (prom.) 2.9 (2050)	15 (prom.)	10.9	69 directos	68
BECCS	Base	Solo bionergía, sin adopción de CCS en escenario base				
	Esc1	0.1 (prom.) 0.4 (2050)	12 (prom.)	72.9	271 permanente 104 construcción	453
	Esc2	2.1 (prom.) 4.7 (2050)	146 (prom.)	69.2	259 permanente 101 construcción	429
Biocarbón	Base	Escenario base sin despliegue de biocarbón alguno				
	Esc1	0.3 (prom.) 0.4 (2050)	7 (prom.)	25.0	100 industrial	161
	Esc2	3.1 (prom.) 4.8 (2050)	58 (prom.)	18.0	72 industrial	116

Fuente: Elaboración propia

- Los efectos en el empleo y la contribución al PIB de las intervenciones de forestación y restauración de manglares podrían ser mayores, si también se consideraran otras actividades económicas indirectas derivadas de su cadena de valor y ecosistema, más allá de las actividades de conservación primaria.
- De considerar sólo la aplicación de biocarbón en plantaciones de árboles frutales en suelo colombiano se podrían secuestrar hasta 5 Mega toneladas de CO₂eq por año para el 2050. Como se mencionó en el caso de la Argentina, una mayor expansión a otros cultivos intensivos y luego a cultivos extensivos podría ser una oportunidad que se podría explorar mediante mayor investigación y el desarrollo de proyectos piloto en Colombia. Si bien el costo de la implementación de biocarbón es mayor en comparación con la forestación y la restauración de manglares, se espera que permanezca por debajo de los 25 USD / tonelada de CO₂eq.
- Se estima una proyección de más de 1,100 MW de capacidad instalada de BECCS para Colombia para el año 2050 en un escenario de alta adopción, potencialmente secuestrando casi 5 Mega toneladas de CO₂eq por año. No obstante, BECCS está limitado por el potencial de bioenergía sostenible y la disponibilidad de almacenamiento seguro para el CO₂. Al igual que en Argentina, en Colombia también existe cierta incertidumbre respecto de la viabilidad y la velocidad de implementación a escala de esta opción tecnológica. La fase de CCS está en gran parte ausente en la NDC colombiana y no se evidencia entre las prioridades de inversión. BECCS compite por recursos limitados con otras opciones de RDC basadas en la naturaleza y con medidas de mitigación.
- Los mayores requerimientos de inversión en proyectos capital intensivos, como el despliegue de BECCS y las plantas de producción de biocarbón, generan mayores efectos en términos de creación de empleo y contribución al PIB. Aunque significativamente más bajo que en Argentina, BECCS presenta el costo de remoción más alto en Colombia -entre las distintas opciones de RDC- con una estimación de alrededor de 70 USD/ton de CO₂eq.

Contribución al logro de los ODS

La revisión de las brechas de conocimiento, planificación e implementación y las estimaciones de impacto se llevaron a cabo con el objetivo final de evaluar las implicaciones de las medidas y/o tecnologías de RDC en su contribución al logro de los ODS.

El cuerpo de investigación sobre la efectividad y las posibles implicaciones de algunas de las opciones de RDC es un campo naciente y, en muchos casos, exploratorio. Las implicaciones más amplias de las opciones de RDC para el desarrollo sostenible no son plenamente comprendidas aún lo suficiente en los países de ALC. No obstante, se ha realizado un esfuerzo inicial para dilucidar el impacto de estas opciones en los ODS en países seleccionados de la región. Es probable que las potenciales implicaciones identificadas para los ODS difieran fuertemente según la escala de intervención asumida, así como según las principales hipótesis consideradas en términos de escenarios y contextos de su implementación.

Es importante señalar que si bien este informe se esfuerza por presentar una visión equilibrada, imparcial y basada en la evidencia de las posibles implicaciones, las brechas en el conocimiento implican que, incluso habiéndose realizado una investigación exhaustiva para cada medida y/o tecnología, en algunos casos esas implicaciones pueden no haber sido evaluadas con una precisión óptima.

Las tecnologías evaluadas en ALC no se han probado a escala y son más costosas que los esfuerzos en curso para reducir directamente las emisiones de CO₂. Sin embargo, también es probable que se produzcan efectos positivos en el logro de los ODS que van más allá de la pura acción climática. Lograr resultados beneficiosos y evitar daños sociales y ambientales requiere mayores esfuerzos de investigación y políticas específicas de evaluaciones de impacto que tengan en cuenta las condiciones locales en cada uno de los países.

Se espera que la implementación a gran escala de las opciones de RDC evaluadas en este estudio, tenga efectos secundarios físicos e implicaciones socioeconómicas o políticas que eventualmente afecten el logro de los ODS. Los efectos secundarios físicos, en particular, se relacionan con: usos alternativos de la tierra y seguridad alimentaria; calidad y disponibilidad del agua; salud; energía; productividad económica; necesidades de infraestructura; y biodiversidad. Las implicaciones socioeconómicas o políticas incluyen: impactos económicos y culturales; costos de oportunidad; requerimientos financieros significativos; consistencia en el marco de política y el regulatorio entre los diversos sectores involucrados.

Según la evaluación realizada a lo largo del estudio, se espera que en los países de ALC el despliegue a gran escala de opciones de RDC genere impactos en el logro de los ODS de la siguiente manera:

Figura 5: Efectos del despliegue de opciones de RDC en el logro de los ODS en países ALC *

Forestación y reforestación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Positivos Directos								8	9				13				
Positivos Indirectos	1		3	4	5		7	8				12			15		
Negativos Directos						6											
Negativos Indirectos		2	3												15		
BECCS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Positivos Directos							7	8	9				13				
Positivos Indirectos			3	4				8			11						
Negativos Directos																	
Negativos Indirectos	1	2	3			6							13		15		
Mejora suelo con biocarbón	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Positivos Directos		2						8	9			12	13				
Positivos Indirectos	1		3	4		6	7	8							15		
Negativos Directos																	
Negativos Indirectos													13				

Fuente: Elaboración propia

* Este análisis sobre los impactos potenciales de la implementación de RDC en los ODS es aplicable a los países de ALC en general y no distingue a ningún país en particular.

La evaluación anterior del impacto del despliegue a gran escala de las medidas y/o tecnologías de RDC en ALC en relación al logro de los ODS se basa en los impactos positivos y negativos, limitaciones y riesgos inherentes a cada opción de RDC. Por lo tanto, es necesaria una evaluación de la compatibilidad de estas opciones con los ODS, una evaluación que aún debe realizarse en la región.

La Forestación y Reforestación en países de ALC se expanden mediante prácticas y tecnologías probadas y conocidas, según se indica en la figura siguiente:

Figura 6: Forestación y Reforestación - Potenciales limitaciones, impactos positivos y riesgos del despliegue de opciones RDC en países ALC

Limitaciones	Impactos positivos	Impactos Negativos
<ul style="list-style-type: none"> • Competencia por el uso de la tierra con otros fines <ul style="list-style-type: none"> • superficie de cultivos para la producción de alimentos • Necesidades de agua y nutrientes • Falta de financiación para las inversiones a largo plazo • Desarrollo de la cadena de valor aguas abajo: producción de madera e industria de la pasta y el papel (actividades intensivas en CAPEX) 	<ul style="list-style-type: none"> • Las mujeres son clave para asegurar la sostenibilidad de los bosques y la silvicultura • Creación de empleo directo e indirecto en la producción de madera, pasta y papel • Desarrollo potencial de las industrias relacionadas: construcción y muebles • Energía limpia y asequible basada en biomasa forestal • Reducción de los niveles de pobreza (creación de empleo, desarrollo económico, salud) 	<ul style="list-style-type: none"> • Impactos en el suministro de alimentos y la tenencia de la tierra • Biodiversidad (dependiendo de las especies a plantar) • Emisiones de NOX de los fertilizantes nitrogenados • Cambios en la evapotranspiración, el albedo y la cobertura de nubes • Escasez de agua

Fuente: Elaboración propia; Vivid Economics, 2020

El despliegue de BECCS en ALC permitiría el suministro de energía limpia, sin embargo, la evidencia de la fase de CCS aún es incipiente:

Figura 7: BECCS - Potenciales limitaciones, impactos positivos y riesgos del despliegue de opciones RDC en países ALC

Limitaciones	Impactos positivos	Impactos Negativos
<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidad de tierras/ competencia Disponibilidad de biomasa Disponibilidad de almacenamiento de CO₂ (viabilidad técnica) e inversión en infraestructura (viabilidad económica) Infraestructura de transporte de CO₂ Escaso conocimiento y desarrollo de la fase de CCS (y, por consiguiente, de los desafíos tecnológicos conexos) 	<ul style="list-style-type: none"> Suministro de energía limpia que aumenta la autonomía y la seguridad del suministro Generación de empleo directo y permanente (operación). Empleo creado (construcción de plantas) y empleo indirecto Mejora de la salud relacionada con la energía limpia y necesidades de la silvicultura Conocimientos y capacidades técnicas Desarrollo de las industrias conexas 	<ul style="list-style-type: none"> Cadena de suministro y emisiones en el cambio de uso de la tierra Escasez de agua Agotamiento del suelo Contaminación por fertilizantes Riesgo de fugas de CO₂ (transporte y/o almacenamiento) Impactos en el suministro de alimentos y tenencia de tierra Secuestro C perdido de bosque utilizado (biomasa de madera) Impacto en la curva de costos de generación de energía

Fuente: Elaboración propia; Vivid Economics, 2020

El despliegue de biocarbón en países de ALC mejoraría el rendimiento de los cultivos, pero aún existen diversos retos tecnológicos para su desarrollo:

Figura 8: Mejora del suelo con Biocarbón - Potenciales limitaciones, impactos positivos y riesgos del despliegue de opciones RDC en países ALC

Limitaciones	Impactos positivos	Impactos Negativos
<ul style="list-style-type: none"> Disponibilidad de biomasa para la producción de biocarbón <ul style="list-style-type: none"> competencia con otros usos Restricciones logísticas: Distancia de la materia prima (biomasa) frente a la distancia para la aplicación Desafíos tecnológicos para el desarrollo, la construcción y el funcionamiento de las plantas Falta de alternativas de financiación a largo plazo para la planta de biocarbón (capital intensivo) 	<ul style="list-style-type: none"> Mejora de las propiedades del suelo y aumento de los rendimientos (alimentos) Conocimiento tecnológico (desar., const. y operación) Secuestro de C a largo plazo Menores emisiones N₂O y CH₄ Mayor equilibrio hídrico (suelo) Potencial en otros cultivos Pirólisis del biocarbón (energía) Otros co-productos: adhesivos y saborizantes de madera Empleo directo y permanente (construcción, aplicación) 	<ul style="list-style-type: none"> Costos logísticos e impactos ambientales del transporte de materias primas y biocarbón Albedo inferior y el forzamiento radiativo

Fuente: Elaboración propia; Vivid Economics, 2020

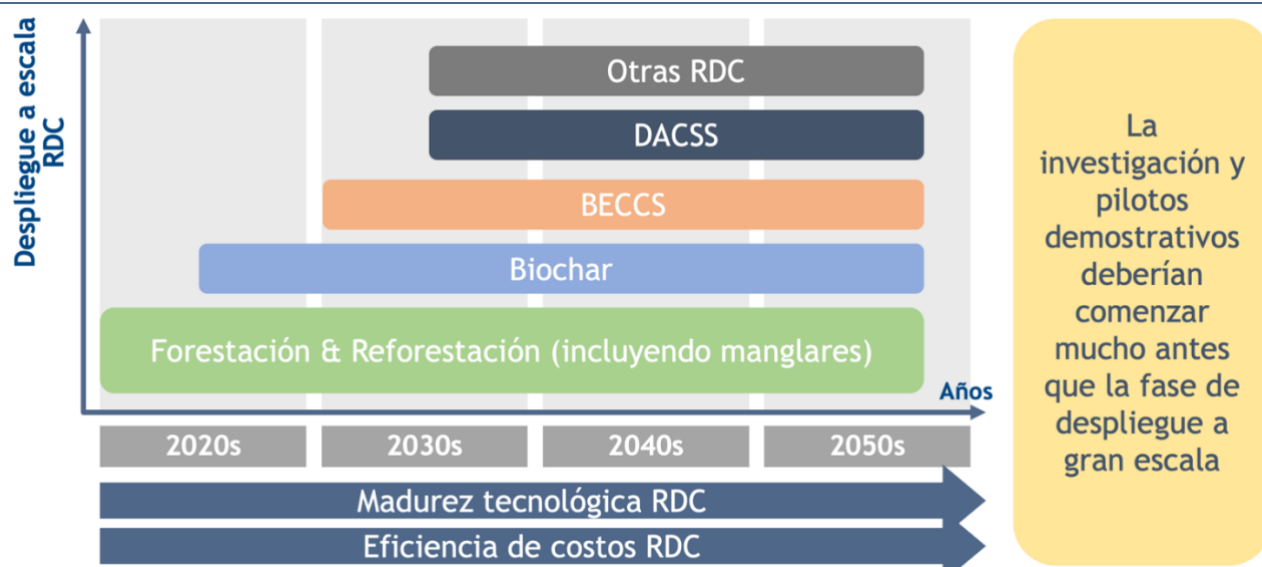
B. Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones tienen como propósito apoyar la toma de decisiones informadas en relación a potenciales despliegues a gran escala de las opciones de RDC que sean aplicables en ALC.

- **Dadas las complejidades e incertidumbres** que aún persisten, asociadas con algunas de las opciones de RDC, **se requiere progreso al menos en:**
 - Elaboración de modelos de evaluación integrales a nivel nacional y sectorial
 - Análisis costo-beneficio
 - Análisis de riesgo
 - Intensificación de la investigación científica y técnica en curso en esta materia
 - Múltiples proyectos piloto
- Los países de ALC podrían enfrentar restricciones duraderas de financiamiento climático y sostenible, que hoy se ven acentuadas además por la pandemia.
- La decisión sobre el potencial desarrollo de las opciones de RDC **requeriría información precisa sobre los costos de la remoción y una evaluación detallada de los riesgos de implementación.**
- La evaluación general de la **viabilidad técnica y económica de las opciones de RDC** debiera integrarse en el marco que proporcionan las **estrategias a largo plazo (LTS, por sus siglas en inglés) que son elaboradas por los países de ALC, y, asimismo, en la próxima generación de NDCs.**
- La necesidad de recursos adicionales podría abordarse en la región mediante **plataformas y programas de trabajo colaborativos y el planteo de requerimientos comunes de financiación climática internacional.**
- El potencial para **consolidar flujos de fondos robustos en el contexto del Artículo 6** podría contribuir a financiar las transiciones de largo plazo requeridas en los países de ALC, aunque esta opción depende de las posiciones que adopten los países de la región en esa materia.
- **Se recomiendan evaluaciones integrales del impacto de las políticas** para elucidar los posibles diseños de políticas para movilizar las medidas y/o tecnologías de RDC y las implicaciones que tendrían en el logro de los ODS.
- **Se requiere una investigación transdisciplinaria y geográficamente diversa** sobre la vinculación entre el despliegue a gran escala de RDC y el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que pueden incluir el desarrollo de principios o métricas de evaluación comunes.
- **La forestación y reforestación presentan el mayor potencial de eliminación de dióxido de carbono y el costo de remoción más bajo** en los países seleccionados de ALC y, por lo tanto, **debieran priorizarse en el despliegue a gran escala de RDC en el corto y mediano plazo.**

- ▷ La restauración de manglares también presenta un significativo potencial de secuestro de carbono que podría lograrse al corto y mediano plazo en diversos países, como Brasil, Colombia, Venezuela, Ecuador, Surinam, Guyana, Guayana Francesa y Perú.
- ▷ Argentina y Colombia son países con un uso intensivo de la tierra para la agricultura y actividades relevantes en ese sector, por lo que una evaluación detallada podría permitir mejorar el conocimiento sobre cómo las opciones de RDC refuerzan las sinergias con los esfuerzos existentes para mitigar el cambio climático y mejorar las prácticas agrícolas sostenibles.
- ▷ A pesar de tratarse de un campo de investigación incipiente en los países de ALC, sería deseable que las opciones de mejora del contenido de carbono de los suelos y las tecnologías que incluyen el uso de biocarbón como potenciador del suelo, así como una mejor meteorización, sean analizadas en mayor profundidad mediante evaluaciones in-situ y actividad específica para cuantificar sus impactos y riesgos potenciales a nivel de campo.
- ▷ Existe una buena base de investigación e iniciativas/proyectos en el componente de bioenergía de BECCS, sin embargo, no se evidencia una investigación integral sobre BECCS, per se. En efecto, se observa una incipiente capacidad instalada -en rápido crecimiento- de plantas de generación de energía de biomasa y biogás y plantas de producción de biocombustibles. La viabilidad económica de las opciones de Captura y Almacenamiento de Carbono necesita ser examinada a distintas escalas.
- ▷ Los biocombustibles aplicados a la generación de energía en áreas no conectadas a la red (generación distribuida) podrían aportar un considerable potencial para el desarrollo de BECCS en los países de ALC, aunque el conocimiento relevante, el compromiso de las partes interesadas y los esfuerzos de implementación, identificados al momento de este estudio, parecen ser aún relativamente limitados.
- ▷ Los esfuerzos en el despliegue a gran escala de opciones, medidas y/o tecnologías de RDC al corto, mediano y largo plazo deben priorizarse de acuerdo con la madurez tecnológica y la eficiencia de costos.
- ▷ Los proyectos piloto de investigación y demostración (por ejemplo, DACCS, BECCS y otras opciones de RDC) deben comenzar con bastante anterioridad a la fase de implementación a gran escala, para lograr un adecuado desarrollo tecnológico y una adecuada reducción de costos. Al corto plazo, la demostración a gran escala de tales opciones de RDC requerirá apoyo gubernamental específico.
- ▷ Los gobiernos de América Latina y el Caribe podrían desempeñar un rol activo en el diseño y seguimiento de la investigación, el desarrollo y el despliegue de DACCS, BECCS y otras opciones de RDC, a nivel nacional, regional e internacional.

Figura 9: Sugerencia de despliegue a gran escala de opciones de RDC por fases en países ALC



Fuente: Elaboración propia

Apéndice: Recomendaciones de líneas de investigación futura

Sugerimos la profundización de la investigación en relación con aquellas consecuencias en las que hay mayor incertidumbre respecto de los resultados de la implementación de las seis opciones de RDC (evaluadas en la sección de brechas de investigación, planificación e implementación) en los países de ALC:

▷ Forestación y Reforestación

- Inventario forestal actualizado por provincia/departamento/estado y por especie
- Análisis del impacto potencial sobre la biodiversidad derivado de una mayor actividad de forestación y restauración de los bosques
- Análisis del impacto potencial en el cambio de uso de la tierra derivado de una mayor actividad de forestación y reforestación de los bosques
- Análisis de las necesidades de agua por la mayor actividad de forestación y reforestación de los bosques
- Plan de desarrollo de largo plazo para la industrialización de la madera y su consecuente agregación de valor por el mayor despliegue de forestación y reforestación de los bosques
- Estrategias y políticas de innovación y transferencia de tecnología en temas de biorrefinerías y nanotecnología
- Promoción de la construcción con madera y su impacto en el sector tradicional
- Inserción internacional de pymes relacionadas a la cadena de valor de la madera y muebles
- Análisis adicional sobre tecnologías de bioenergía para la generación de energía a partir de residuos sólidos urbanos (RSU), efluentes industriales y agrícolas, como residuos de aves y ganado
- Igualdad de género en el empleo en la cadena forestal
- Esquemas de financiación a largo plazo de proyectos de forestación/reforestación y restauración
- Cuantificación de la efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo

▷ BECCS

- Análisis y priorización de localizaciones potenciales para nuevas plantas BECCS
- Selección y análisis de tecnologías y procesos relevantes para plantas BECCS
- Determinación de escala óptima de plantas BECCS
- Análisis adicional de las externalidades de los proyectos de bioenergía con biomasa seca y biogás
- Análisis del impacto potencial en el cambio de uso de la tierra derivado del despliegue de BECCS a gran escala
- Análisis del impacto potencial sobre la biodiversidad derivado del despliegue a gran escala
- Análisis del impacto a largo plazo en los precios de la electricidad como resultado de cambios en la matriz de generación de energía en escenarios de despliegue a gran escala.
- Planes y esquemas para la retención de puestos de trabajo ante el desplazamiento de plantas térmicas y de carbón
- Estudio de evaluación de riesgos y plan de mitigación de riesgos para el despliegue de BECCS a gran escala (con particular foco en las fases de transporte y almacenamiento del CO₂ capturado)
- Análisis de materiales y tecnologías de prevención de fugas/pérdidas de CO₂
- Esquemas de financiamiento a largo plazo de proyectos BECCS
- Cuantificación de efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo
- Estrategias innovadoras para rondas de licitación orientadas para la adjudicación de proyectos BECCS

▷ **Biocarbón**

- Análisis y priorización de localizaciones potenciales para plantas de biocarbón
- Selección y análisis de tecnologías y procesos para la producción de biocarbón
- Determinación de la escala óptima de plantas de biocarbón y análisis sobre su modularización
- Análisis y priorización de áreas potenciales para la aplicación de biocarbón por cultivo y región (incluidos cultivos intensivos y extensivos)
- Determinación de la dosis y composición óptimas de pellets de biocarbón para cada tipo de cultivo y cada región donde se aplicaría
- Análisis de los requisitos logísticos y los costos logísticos del despliegue de biocarbón
- Análisis de la generación potencial de energía a partir de plantas de biocarbón (mediante el proceso de pirólisis exotérmica) y microrredes industriales
- Procedimientos para la producción y manipulación segura de biocarbón
- Desarrollo de procedimientos para la correcta aplicación de biocarbón en el suelo
- Análisis del impacto en el empleo y las comunidades locales relacionado con la aplicación de biocarbón en las plantaciones
- Análisis del impacto en el rendimiento de los cultivos producto de la aplicación de biocarbón según principales cultivos y regiones
- Análisis del impacto en los nutrientes del suelo, PH y otras propiedades relevantes del suelo producto de la aplicación de biocarbón por principales cultivos y regiones
- Análisis de otros usos potenciales del biocarbón más allá de la agricultura (por ejemplo, remediación de efluentes, remediación de suelos contaminados, etc.)
- Esquemas de financiación a largo plazo de proyectos de biocarbón
- Cuantificación de efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo

▷ **Intemperización reforzada**

- Análisis y priorización de áreas potenciales para la aplicación de meteorización mejorada (en tierra) por cultivo y región (incluidos cultivos intensivos y extensivos)
- Análisis de la disponibilidad de minerales de silicato para el despliegue de la intemperización reforzada
- Análisis de procesos y tecnologías para la minería, trituración y esparcimiento de rocas a gran escala
- Determinación de dosis, composición y tamaño óptimos de granos de polvo de minerales de silicato para cada tipo de cultivo y cada región donde se aplicará
- Análisis de requisitos logísticos y costos logísticos de minerales de silicato para despliegue de intemperización reforzada
- Procedimientos para la correcta aplicación de minerales de silicato en el suelo
- Análisis del impacto en el empleo y las comunidades locales relacionado con la aplicación de intemperización reforzada en las plantaciones
- Análisis del impacto en el rendimiento de los cultivos debido a la intemperización reforzada por principales cultivos y regiones
- Análisis del impacto en los nutrientes del suelo, el PH y otras propiedades relevantes del suelo debido a la intemperización reforzada por principales cultivos y regiones
- Análisis de impacto en la compensación de fertilizantes
- Esquemas para la financiación a largo plazo de proyectos de intemperización reforzada
- Cuantificación de efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo

▷ **DACCS**

- Relevamiento, análisis y priorización de procesos y tecnologías para instalaciones DACCS
- Determinación de la escala óptima de plantas DACCS y viabilidad de su modularización
- Análisis de viabilidad técnico-económica de plantas DACCS adaptadas a las condiciones locales del país
- Análisis de requisitos, disponibilidad y cadena de suministro de materiales clave (como absorbentes) para la implementación de DACCS a gran escala
- Investigación técnica sobre la composición y propiedades óptimas de los absorbentes
- Análisis de requisitos y disponibilidad de energía para el despliegue de DACCS a gran escala

- Análisis y priorización de localizaciones potenciales para plantas DACCS
- Estudio de evaluación de riesgos y plan de mitigación de riesgos para la implementación de DACCS a gran escala (particular foco en las fases de transporte y almacenamiento de CO₂ capturado)
- Análisis de materiales y tecnologías de prevención de fugas/pérdidas de CO₂
- Esquemas de financiación a largo plazo de proyectos DACCS
- Cuantificación de la efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo

▷ Fertilización de Océanos

- Análisis y priorización de áreas potenciales para fertilización oceánica
- Investigación técnica sobre la composición y propiedades óptimas de los minerales de silicato
- Evaluación de los impactos del aumento de actividad de la cadena de valor de la industria minera
- Determinación de la dosis óptima de silicato mineral por km²
- Análisis de requerimientos logísticos y costos logísticos para fertilización oceánica
- Análisis y selección de técnicas óptimas para la fertilización oceánica
- Cuantificación del secuestro de carbono adaptado a las condiciones locales / áreas oceánicas seleccionadas del despliegue de fertilización oceánica a gran escala
- Evaluación exhaustiva de impacto sobre el ecosistema marino y planes de mitigación de riesgos (por ejemplo, posibles efectos secundarios biogeoquímicos; efectos sobre los ecosistemas del fondo marino)
- Involucramiento pleno del sector científico y monitoreo de los resultados obtenidos
- Esquemas de monitoreo de actividades de fertilización a gran escala
- Esquemas para la financiación a largo plazo de proyectos de fertilización oceánica
- Cuantificación de efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo

▷ Alcalinización de Océanos

- Esquemas para la financiación a largo plazo de proyectos de alcalinización de océanos
- Análisis y priorización de áreas potenciales para la alcalinización de océanos
- Investigación técnica sobre la composición y propiedades óptimas de las sustancias alcalinas
- Evaluación de los impactos del aumento de la actividad de la cadena de valor de la industria minera
- Determinación de la dosis óptima de sustancias alcalinas por km²
- Análisis de requerimientos logísticos y costos logísticos para la alcalinización de océanos
- Análisis y selección de técnicas óptimas para agregar alcalinidad al océano, por ejemplo, sustancias alcalinas finamente molidas sobre el océano, depósito de arena o grava alcalina en playas o fondos marinos costeros y reacción de mar con minerales alcalinos dentro de celdas de combustible especializadas antes de devolverla al océano; otros)
- Cuantificación del secuestro de carbono adaptado a las condiciones locales / áreas oceánicas seleccionadas a partir del despliegue de alcalinización oceánica a gran escala
- Explorar la viabilidad de la coproducción de hidrógeno
- Esquemas de monitoreo de cualquier actividad de alcalinización a gran escala
- Evaluación de impacto sobre el ecosistema marino y plan de mitigación de riesgos (por ejemplo, posibles efectos secundarios biogeoquímicos; efectos sobre los ecosistemas del fondo marino; pH de la superficie; metales pesados)
- Esquemas para la financiación a largo plazo de proyectos de alcalinización oceánica
- Cuantificación de efectividad de incentivos y exenciones tributarias para su desarrollo