



Diciembre 2025

# Eliminación de Dióxido de Carbono en California

Una Guía Práctica para los  
Formuladores de Políticas y el Públco

The Climate Center, Diciembre 2025

# Eliminación de Dióxido de Carbono en California:

Una Guía Práctica para los Formuladores de Políticas y el Público

**Autoras:** Baani Behniwal and Katy Webb

## Tabla de contenido

<b>Resumen ejecutivo</b>	1
<b>Agradecimientos</b>	6
<b>Resumen ejecutivo</b>	7
<b>Introducción</b>	12
<b>¿Qué es la CDR? ¿Por qué es importante?</b>	13
<b>El ciclo, captura y almacenamiento del carbono</b>	16
<b>¿Cómo funciona la CDR?</b>	19
<b>Tabla de métodos utilizados para la eliminación de dióxido de carbono</b>	22
<b>Ventajas y desafíos de la eliminación de dióxido de carbono basada en la naturaleza</b>	28
<b>Estudio de caso – Soluciones basadas en la naturaleza en el paisaje de Sierra-Cascade</b>	30
<b>Ventajas y desafíos de la eliminación híbrida e industrial de dióxido de carbono</b>	31
Estudio de caso – Pionera en el país: Planta de captura directa de aire (DAC) de Heirloom	32
<b>Financiamiento de proyectos de eliminación de carbono</b>	37
Mercados voluntarios	37
Filantropía	38
Mercados de cumplimiento	39
Créditos fiscales	40
Adquisiciones gubernamentales	41
<b>Protección y salvaguardas para las comunidades</b>	42
<b>El papel de la captura de dióxido de carbono en la política climática de California</b>	48
<b>La legislación CDR en California</b>	50
<b>Recomendaciones de políticas públicas de The Climate Center</b>	52
<b>Conclusión</b>	55
<b>Citas de la Tabla de Métodos Utilizados para la Eliminación de Dióxido de Carbono</b>	56
<b>Glosario</b>	58
<b>Recursos adicionales</b>	66

## Resumen ejecutivo

California se encuentra en un momento crucial en su lucha contra la crisis climática, que exige no solo acelerar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también afrontar la contaminación de carbono que ha quedado atrás desde la Revolución Industrial. Estas emisiones heredadas de larga duración seguirán impactando el clima, incluso cuando la sociedad haya logrado descarbonizarse en todos los sectores. Eliminar las emisiones heredadas ya no es opcional, es esencial para restaurar la estabilidad climática y salvaguardar nuestro futuro.

Con los compromisos legales de alcanzar cero emisiones netas para 2045 y emisiones netas negativas a partir de entonces, California no puede depender únicamente de la reducción de emisiones. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas ha dejado claro que, para estabilizar nuestro clima, la sociedad necesitará reducir drásticamente las emisiones (un 45 % por debajo de los niveles de 2010 para 2030) y también eliminar cientos o miles de gigatoneladas (miles de millones de toneladas) de dióxido de carbono ya liberado a la atmósfera.<sup>1</sup>

Por lo tanto, alcanzar los objetivos de California requerirá una estrategia dual y coordinada:

1. **Acelerar la descarbonización en todos los sectores y**
2. **Aumentar responsablemente la eliminación de dióxido de carbono (CDR, por sus siglas en inglés)** para eliminar las emisiones de carbono residuales y heredadas.

La **Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR)** abarca métodos naturales, híbridos e industriales que eliminan las emisiones heredadas de la atmósfera y las almacenan en productos o en depósitos geológicos, terrestres y acuáticos. La CDR no es lo mismo que la Captura y Secuestro de Carbono (CCS, por sus siglas en inglés), aunque algunas infraestructuras y riesgos asociados a ciertas estrategias de CDR pueden ser similares. Mientras que los métodos de CCS pretenden capturar las emisiones de carbono en una fuente de contaminación (por ejemplo, una chimenea), la CDR busca reducir las emisiones del pasado que están presentes en la atmósfera.

---

<sup>1</sup> <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Durante siglos, los bosques, suelos y humedales de California han absorbido carbono de la atmósfera. Sin embargo, los factores de estrés climático, como los incendios forestales, las sequías, las plagas y los cambios en el uso del suelo, socavan la capacidad de nuestras tierras para almacenar carbono de forma duradera.

Al mismo tiempo, los enfoques emergentes de CDR, tanto industriales como híbridos, como la captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés), la extracción y almacenamiento de carbono de la biomasa (BiCRS, por sus siglas en inglés) y la meteorización mejorada de rocas (ERW, por sus siglas en inglés), muestran potencial para el almacenamiento duradero de carbono. Sin embargo, siguen siendo costosos, técnicamente complejos y requieren muchos recursos, por lo que cualquier esfuerzo para ampliarlos debe contar con sólidas medidas de protección para las comunidades y el medio ambiente.

Con sus ambiciosos mandatos climáticos, sólidas instituciones de investigación y herramientas regulatorias integrales, California se encuentra en una posición privilegiada para desarrollar un modelo de alta integridad y equidad para la eliminación de carbono. Nuestro estado tiene el potencial de construir una cartera diversa de CDR que apoye los ecosistemas, promueva soluciones sostenibles e ingenieriles, y priorice la justicia ambiental.

### **Un enfoque de cartera**

La CDR puede describirse como un ‘simple control’, no un ‘interruptor’,<sup>2</sup> ya que las estimaciones de la cantidad de CDR necesaria dependen de la rapidez con la que la sociedad pueda descarbonizarse. Además, ningún enfoque de CDR puede, por sí solo, proporcionar el volumen, la durabilidad y la fiabilidad de la eliminación de carbono que California necesita. Un enfoque exitoso implicará:

- **Escalar soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés)** comprobadas, como la reforestación, la restauración de humedales y las prácticas agrícolas sostenibles. Estas ofrecen una eliminación de carbono a corto plazo y de bajo costo, así como importantes beneficios para el ecosistema y la comunidad. Sin embargo, también enfrentan desafíos de durabilidad y requerirán un monitoreo riguroso para garantizar su rendimiento a largo plazo.

---

<sup>2</sup> <https://carbon180.org/blog/carbon-removal-and-the-path-back-to-1-5c/>

- **Promover enfoques híbridos** como el biocarbón y la meteorización mejorada de rocas, que utilizan tecnología para optimizar los procesos naturales de secuestro de carbono. Se requiere mayor investigación sobre los impactos, la escalabilidad y los resultados a largo plazo.
- **Investigar, pilotar y expandir con cautela la CDR industrial**, incluyendo la captura directa de aire (DAC) y la eliminación y almacenamiento de carbono de la biomasa (BiCRS). Estas tecnologías permiten un almacenamiento duradero de carbono, pero requieren sólidas medidas de seguridad, ubicación, uso energético y protección comunitaria para garantizar su implementación responsable.

### **Contexto de políticas públicas**

California ha establecido objetivos ambiciosos mediante las leyes AB 1279 (Muratsuchi, 2022), SB 905 (Caballero, 2022), SB 27 (Skinner, 2021), AB 1757 (C. Garcia y R. Rivas, 2022) y el Plan de Alcance de CARB de 2022. Sin embargo, California aún carece de una hoja de ruta unificada para la implementación equitativa, responsable y eficaz de la CDR.

Lograr esta visión requiere un esfuerzo coordinado entre agencias estatales, gobiernos tribales, organizaciones comunitarias, socios laborales, instituciones académicas, líderes de justicia ambiental y actores responsables del sector privado. La transparencia en la toma de decisiones, el riguroso monitoreo y verificación, y la genuina participación comunitaria son fundamentales para evitar que se repitan las injusticias ambientales cometidas por la industria en el pasado.

### **Recomendaciones prioritarias**

Para garantizar la implementación responsable de la CDR en California, The Climate Center recomienda las siguientes prioridades de política pública a los responsables de la toma de decisiones estatales:

- 1. Mantener la CDR separada de la reducción de emisiones.** Contabilizar la CDR únicamente para los objetivos específicos de eliminación de carbono de California (7 millones de toneladas métricas para 2030; 75 millones de toneladas métricas para 2045), no para el requisito estatal de reducción de emisiones del 85 %.
- 2. Fortalecer los acuerdos de beneficios comunitarios de la CDR industrial.** Incluir derechos comunitarios de rechazo y restitución, protección para las comunidades de primera línea, avisos multilingües y la oportunidad de participar, y estándares de participación basados en las mejores prácticas.
- 3. Adoptar regulaciones estrictas para el transporte y almacenamiento de dióxido de carbono en todos sus estados.** Exigir distancias de retroceso con base científica para proyectos industriales de CDR y oleoductos de dióxido de carbono, dióxido de carbono odorizado y operaciones impulsadas por energías limpias. Mantener la prohibición de la Recuperación Mejorada de Petróleo (EOR, por sus siglas en inglés), exigir una sólida planificación de respuesta a emergencias y planes de remediación de fugas, limitar la distancia de transporte y exigir una revisión completa de la CEQA, incluyendo los impactos acumulativos.
- 4. Aumentar la financiación para la investigación y el desarrollo de CDR.** Apoyar estudios que clarifiquen los impactos, los riesgos y las posibles vías para ampliar la escala de soluciones eficaces de CDR.
- 5. Financiar y ampliar continuamente la inversión en soluciones basadas en la naturaleza (NBS).** Impulsar los objetivos de la AB 1757 para ampliar la escala de las NBS y generar beneficios de eliminación de carbono y resiliencia a nivel estatal.
- 6. Perfeccionar el monitoreo, reporte y verificación (MRV, por sus siglas en inglés).** Garantizar que los protocolos MRV para todas las estrategias de CDR proporcionen una contabilidad precisa, adicional y transparente de la eliminación del carbono.
- 7. Desarrollar mecanismos de financiación a largo plazo y sin combustibles fósiles para la CDR.** Establecer herramientas de financiación —como

mercados de cumplimiento, responsabilidad extendida del productor, adquisiciones e incentivos fiscales— que no dependan de compensaciones ni perpetúen el uso de combustibles fósiles.

8. **Financiar colaboraciones continuas con organizaciones comunitarias y de justicia ambiental.** Apoyar la participación comunitaria durante todo el ciclo de vida de los proyectos de CDR para garantizar que la CDR industrial genere beneficios locales significativos y se centre en la comunidad local.

## **Financiamiento**

El panorama actual de financiamiento de la CDR —que incluye mercados voluntarios, filantropía, programas federales y estatales e incentivos fiscales como el 45Q— ha impulsado la innovación temprana. Sin embargo, las oportunidades de financiamiento actuales no son suficientes para respaldar la cantidad y calidad de la eliminación de carbono necesaria. Se necesitarán programas públicos con sólidas salvaguardias para ayudar a escalar eficazmente la eliminación de carbono, a la vez que se previenen consecuencias imprevistas.

Para que California siga logrando avances reales, el estado necesita sistemas de financiamiento sostenibles en el tiempo, que prioricen los intereses de la comunidad y que no perpetúen el uso de combustibles fósiles.

## **Camino al éxito**

El éxito de California en la eliminación de carbono dependerá de actuar con anticipación, con cautela y en colaboración con diversas partes interesadas en todo el estado. Al combinar una reducción drástica de emisiones con un enfoque reflexivo y centrado en la justicia para la eliminación de carbono, el estado puede proteger a las comunidades más vulnerables, fortalecer su economía, restaurar los ecosistemas y demostrar un liderazgo climático responsable e íntegro para la nación y el mundo.

## Agradecimientos

The Climate Center agradece a todas las personas y organizaciones que participaron en la elaboración de este exhaustivo informe sobre la eliminación de carbono (CDR). Gracias a todos quienes contribuyeron al documento y revisaron su contenido; sin su apoyo, esto no habría sido posible.

### Revisión

Asha Sharma, Leadership for Justice and Accountability

Esther Mburu, Restore the Delta

Ingrid Brostrom, Universidad de California, Merced

Newsha Ajami, Laboratorio Nacional Lawrence Berkley

Rachael Meyers Jones, Youth on Root

### Voluntarios

Lisa Hill, Diseño gráfico

Victoria Ewing, Traducción

Rowan Oloman, Edición de copia

John Clifford (J.C.) Armbruster, Edición de copia

## Resumen ejecutivo

California se encuentra en un momento crucial en su lucha contra la crisis climática, que exige no solo acelerar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino también afrontar la contaminación de carbono que ha quedado atrás desde la Revolución Industrial. Estas emisiones heredadas de larga duración seguirán impactando el clima, incluso cuando la sociedad haya logrado descarbonizarse en todos los sectores. Eliminar las emisiones heredadas ya no es opcional, es esencial para restaurar la estabilidad climática y salvaguardar nuestro futuro.

Con los compromisos legales de alcanzar cero emisiones netas para 2045 y emisiones netas negativas a partir de entonces, California no puede depender únicamente de la reducción de emisiones. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) de las Naciones Unidas ha dejado claro que, para estabilizar nuestro clima, la sociedad necesitará reducir drásticamente las emisiones (un 45 % por debajo de los niveles de 2010 para 2030) y también eliminar cientos o miles de gigatoneladas (miles de millones de toneladas) de dióxido de carbono ya liberado a la atmósfera.<sup>3</sup>

Por lo tanto, alcanzar los objetivos de California requerirá una estrategia dual y coordinada:

1. **Acelerar la descarbonización en todos los sectores y**
2. **Aumentar responsablemente la eliminación de dióxido de carbono (CDR, por sus siglas en inglés)** para eliminar las emisiones de carbono residuales y heredadas.

**La Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR)** abarca métodos naturales, híbridos e industriales que eliminan las emisiones heredadas de la atmósfera y las almacenan en productos o en depósitos geológicos, terrestres y acuáticos. La CDR no es lo mismo que la Captura y Secuestro de Carbono (CCS, por sus siglas en inglés), aunque algunas infraestructuras y riesgos asociados a ciertas estrategias de CDR pueden ser similares. Mientras que los métodos de CCS pretenden capturar las emisiones de carbono en una fuente de contaminación (por ejemplo, una chimenea), la CDR busca reducir las emisiones del pasado que están presentes en la atmósfera.

---

<sup>3</sup> <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Durante siglos, los bosques, suelos y humedales de California han absorbido carbono de la atmósfera. Sin embargo, los factores de estrés climático, como los incendios forestales, las sequías, las plagas y los cambios en el uso del suelo, socavan la capacidad de nuestras tierras para almacenar carbono de forma duradera.

Al mismo tiempo, los enfoques emergentes de CDR, tanto industriales como híbridos, como la captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés), la extracción y almacenamiento de carbono de la biomasa (BiCRS, por sus siglas en inglés) y la meteorización mejorada de rocas (ERW, por sus siglas en inglés), muestran potencial para el almacenamiento duradero de carbono. Sin embargo, siguen siendo costosos, técnicamente complejos y requieren muchos recursos, por lo que cualquier esfuerzo para ampliarlos debe contar con sólidas medidas de protección para las comunidades y el medio ambiente.

Con sus ambiciosos mandatos climáticos, sólidas instituciones de investigación y herramientas regulatorias integrales, California se encuentra en una posición privilegiada para desarrollar un modelo de alta integridad y equidad para la eliminación de carbono. Nuestro estado tiene el potencial de construir una cartera diversa de CDR que apoye los ecosistemas, promueva soluciones sostenibles e ingenieriles, y priorice la justicia ambiental.

### **Un enfoque de cartera**

La CDR puede describirse como un ‘simple control’, no un ‘interruptor’,<sup>4</sup> ya que las estimaciones de la cantidad de CDR necesaria dependen de la rapidez con la que la sociedad pueda descarbonizarse. Además, ningún enfoque de CDR puede, por sí solo, proporcionar el volumen, la durabilidad y la fiabilidad de la eliminación de carbono que California necesita. Un enfoque exitoso implicará:

- **Escalar soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés) comprobadas**, como la reforestación, la restauración de humedales y las prácticas agrícolas sostenibles. Estas ofrecen una eliminación de carbono a corto plazo y de bajo costo, así como importantes beneficios para el ecosistema y la comunidad. Sin embargo, también enfrentan desafíos de durabilidad y requerirán un monitoreo riguroso para garantizar su rendimiento a largo plazo.

---

<sup>4</sup> <https://carbon180.org/blog/carbon-removal-and-the-path-back-to-1-5c/>

- **Promover enfoques híbridos** como el biocarbón y la meteorización mejorada de rocas, que utilizan tecnología para optimizar los procesos naturales de secuestro de carbono. Se requiere mayor investigación sobre los impactos, la escalabilidad y los resultados a largo plazo.
- **Investigar, pilotar y expandir con cautela la CDR industrial**, incluyendo la captura directa de aire (DAC) y la eliminación y almacenamiento de carbono de la biomasa (BiCRS). Estas tecnologías permiten un almacenamiento duradero de carbono, pero requieren sólidas medidas de seguridad, ubicación, uso energético y protección comunitaria para garantizar su implementación responsable.

### **Contexto de políticas públicas**

California ha establecido objetivos ambiciosos mediante las leyes AB 1279 (Muratsuchi, 2022), SB 905 (Caballero, 2022), SB 27 (Skinner, 2021), AB 1757 (C. Garcia y R. Rivas, 2022) y el Plan de Alcance de CARB de 2022. Sin embargo, California aún carece de una hoja de ruta unificada para la implementación equitativa, responsable y eficaz de la CDR.

Lograr esta visión requiere un esfuerzo coordinado entre agencias estatales, gobiernos tribales, organizaciones comunitarias, socios laborales, instituciones académicas, líderes de justicia ambiental y actores responsables del sector privado. La transparencia en la toma de decisiones, el riguroso monitoreo y verificación, y la genuina participación comunitaria son fundamentales para evitar que se repitan las injusticias ambientales cometidas por la industria en el pasado.

### **Recomendaciones prioritarias**

Para garantizar la implementación responsable de la CDR en California, The Climate Center recomienda las siguientes prioridades de política pública a los responsables de la toma de decisiones estatales:

- 1. Mantener la CDR separada de la reducción de emisiones.** Contabilizar la CDR únicamente para los objetivos específicos de eliminación de carbono de California (7 millones de toneladas métricas para 2030; 75 millones de toneladas métricas para 2045), no para el requisito estatal de reducción de emisiones del 85%.
- 2. Fortalecer los acuerdos de beneficios comunitarios de la CDR industrial.** Incluir derechos comunitarios de rechazo y restitución, protección para las comunidades de primera línea, avisos multilingües y la oportunidad de participar, y estándares de participación basados en las mejores prácticas.
- 3. Adoptar regulaciones estrictas para el transporte y almacenamiento de dióxido de carbono en todos sus estados.** Exigir distancias de retroceso con base científica para proyectos industriales de CDR y oleoductos de dióxido de carbono, dióxido de carbono odorizado y operaciones impulsadas por energías limpias. Mantener la prohibición de la Recuperación Mejorada de Petróleo (EOR, por sus siglas en inglés), exigir una sólida planificación de respuesta a emergencias y planes de remediación de fugas, limitar la distancia de transporte y exigir una revisión completa de la CEQA, incluyendo los impactos acumulativos.
- 4. Aumentar la financiación para la investigación y el desarrollo de CDR.** Apoyar estudios que clarifiquen los impactos, los riesgos y las posibles vías para ampliar la escala de soluciones eficaces de CDR.
- 5. Financiar y ampliar continuamente la inversión en soluciones basadas en la naturaleza (NBS).** Impulsar los objetivos de la AB 1757 para ampliar la escala de las NBS y generar beneficios de eliminación de carbono y resiliencia a nivel estatal.
- 6. Perfeccionar el monitoreo, reporte y verificación (MRV, por sus siglas en inglés).** Garantizar que los protocolos MRV para todas las estrategias de CDR proporcionen una contabilidad precisa, adicional y transparente de la eliminación del carbono.
- 7. Desarrollar mecanismos de financiación a largo plazo y sin combustibles fósiles para la CDR.** Establecer herramientas de financiación —como

mercados de cumplimiento, responsabilidad extendida del productor, adquisiciones e incentivos fiscales— que no dependan de compensaciones ni perpetúen el uso de combustibles fósiles.

8. **Financiar colaboraciones continuas con organizaciones comunitarias y de justicia ambiental.** Apoyar la participación comunitaria durante todo el ciclo de vida de los proyectos de CDR para garantizar que la CDR industrial genere beneficios locales significativos y se centre en la comunidad local.

## **Financiamiento**

El panorama actual de financiamiento de la CDR —que incluye mercados voluntarios, filantropía, programas federales y estatales e incentivos fiscales como el 45Q— ha impulsado la innovación temprana. Sin embargo, las oportunidades de financiamiento actuales no son suficientes para respaldar la cantidad y calidad de la eliminación de carbono necesaria. Se necesitarán programas públicos con sólidas salvaguardias para ayudar a escalar eficazmente la eliminación de carbono, a la vez que se previenen consecuencias imprevistas.

Para que California siga logrando avances reales, el estado necesita sistemas de financiamiento sostenibles en el tiempo, que prioricen los intereses de la comunidad y que no perpetúen el uso de combustibles fósiles.

## **Camino al éxito**

El éxito de California en la eliminación de carbono **dependerá de actuar con anticipación, con cautela y en colaboración con** diversas partes interesadas en todo el estado. Al combinar una reducción drástica de emisiones con un enfoque reflexivo y centrado en la justicia para la eliminación de carbono, el estado puede proteger a las comunidades más vulnerables, fortalecer su economía, restaurar los ecosistemas y demostrar un liderazgo climático responsable e íntegro para la nación y el mundo.

## Introducción

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) concluyó en su histórico Informe sobre el Calentamiento Global de 1,5 °C de 2018 que, para estabilizar nuestro clima, debemos reducir las emisiones en un 45 % para 2030 y, además, eliminar cientos de miles de gigatones (mil millones de toneladas) de emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) ya presentes en la atmósfera, conocidas como **emisiones históricas**, a lo largo del siglo XXI.<sup>5</sup> Un gigatón (Gt) de dióxido de carbono equivale aproximadamente a las emisiones de dióxido de carbono anual de 233 millones de automóviles a gasolina.<sup>6</sup>

Como parte de la **Campaña California Segura**,<sup>7</sup> The Climate Center se ha enfocado en ampliar rápidamente las soluciones basadas en la naturaleza para reducir las emisiones de dióxido de carbono del pasado. Sin embargo, informes recientes<sup>8</sup> han evidenciado que estas soluciones, por sí solas, no bastan para alcanzar los compromisos establecidos de cero emisiones netas y emisiones negativas netas. Por lo tanto, es necesario implementar a gran escala diversas estrategias de eliminación de **dióxido de carbono** (CDR), incluidas soluciones basadas en la naturaleza, para lograr estos objetivos y estabilizar al clima.

Dado que el campo de la eliminación de dióxido de carbono (CDR) es relativamente incipiente, es importante que los miembros de la comunidad y los responsables políticos comprendan los impactos de los métodos de CDR antes de su implementación a gran escala. Si bien el campo de la CDR es prometedor, algunos enfoques incipientes conllevan riesgos sustanciales y aún se encuentran en las primeras etapas de diseño, lo que requiere mayor investigación y desarrollo antes de su implementación efectiva. Además, las soluciones basadas en la naturaleza y otros enfoques de CDR deberán trabajar en conjunto para crear comunidades resilientes y estabilizar el clima.

Este documento explora temas clave en el ámbito de la eliminación de dióxido de carbono (CDR), desde las diversas vías de implementación hasta los posibles mecanismos de financiación, y cómo la justicia ambiental debe ser el principio rector

---

<sup>5</sup> <https://www.ipcc.ch/sr15/>

<sup>6</sup> <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>

<sup>7</sup> <https://theclimatecenter.org/climate-safe-california/>

<sup>8</sup> <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1710465114>

en las políticas y proyectos futuros. El mundo de la CDR es complejo y presenta múltiples matices. Se invita a los lectores a profundizar en este tema tras la lectura de este documento.<sup>9</sup>

The Climate Center, en colaboración con el Proyecto 2030<sup>10</sup> y California Environmental Voters<sup>11</sup>, estableció directrices preliminares para el despliegue responsable de la CDR como contexto para las iniciativas de promoción:

1. Eliminar la contaminación climática histórica de la atmósfera es esencial para estabilizar nuestro clima.
2. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) y la eliminación gradual de los combustibles fósiles debe ser acelerada.
3. La eliminación de dióxido de carbono (CDR) no sustituye la reducción directa de emisiones
4. Los proyectos de CDR deben centrarse en la comunidad y diseñarse con la participación activa de las comunidades.
5. Los proyectos CDR no deben agravar la contaminación existente ni otros problemas ambientales.
6. La eliminación de dióxido de carbono (CDR) basada en soluciones basadas en la naturaleza es fundamental por sus múltiples beneficios adicionales.

## ¿Qué es la CDR? ¿Por qué es importante?

La **eliminación de dióxido de carbono** (CDR) se refiere a los métodos que eliminan la contaminación residual e histórica de dióxido de carbono de la atmósfera y la almacenan en productos o en depósitos geológicos, terrestres y oceánicos. La eliminación de dióxido de carbono *no* es lo mismo que la **captura y almacenamiento (CCS)**, aunque parte de la infraestructura y los riesgos para ciertas estrategias CDR pueden ser similares. Mientras que los métodos CCS pretenden capturar las emisiones de dióxido de carbono en la fuente de contaminación (por ejemplo, en una chimenea), la CDR busca reducir las emisiones pasadas de la atmósfera, también conocidas como **emisiones históricas**, como parte de un esfuerzo mayor para mitigar los peores efectos del cambio climático.

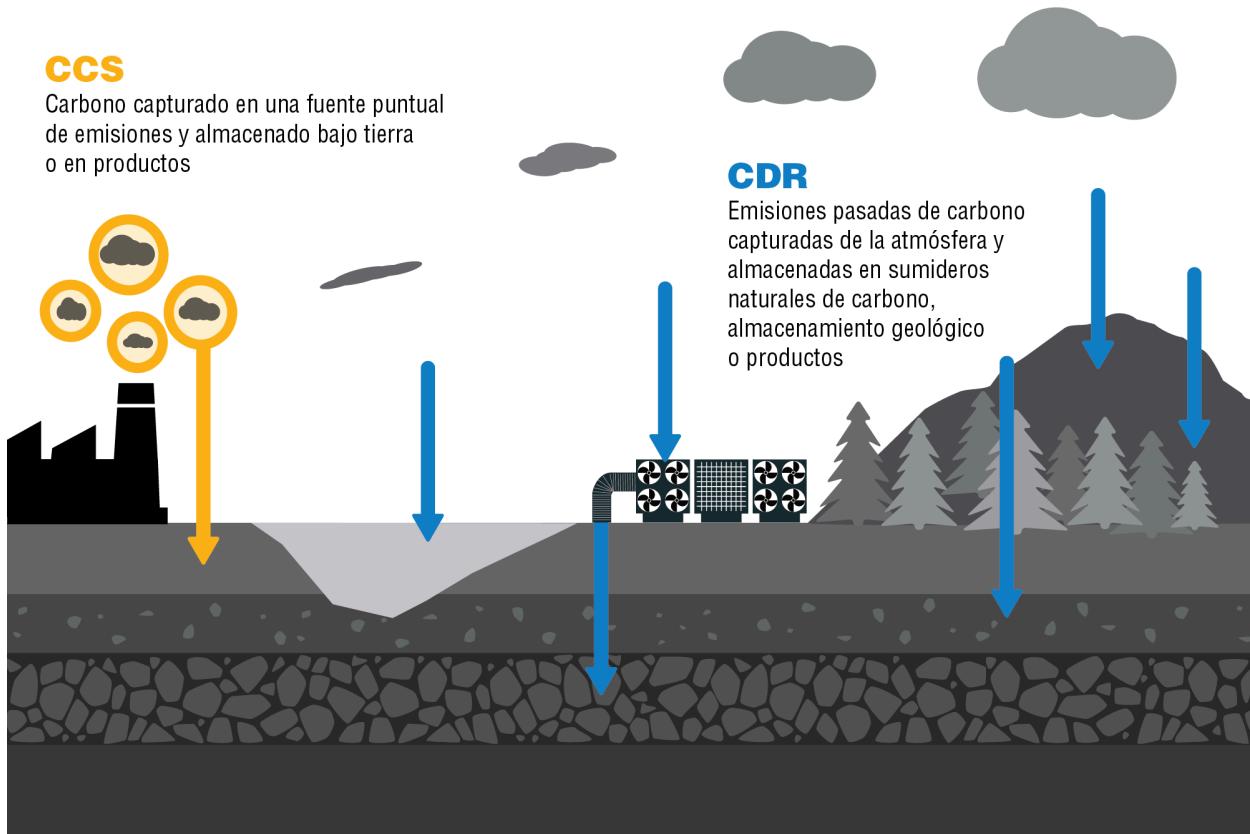
---

<sup>9</sup> Consultar la sección de recursos adicionales del documento en el apéndice

<sup>10</sup> <https://project2030.blog/about-us/>

<sup>11</sup> <https://envirovoters.org/>

## Eliminación de dióxido de carbono (CDR) vs. Captura y secuestro del carbono (CCS)



Las emisiones históricas han elevado los niveles de dióxido de carbono por encima de lo considerado seguro para la sociedad humana. Los niveles actuales de dióxido de carbono atmosférico superan las 420 partes por millón (ppm), muy por encima del umbral seguro de 350 ppm,<sup>12</sup> lo que subraya la necesidad de un objetivo de emisiones netas negativas. El drástico aumento del dióxido de carbono en la atmósfera, junto con el incremento de otros gases de efecto invernadero como el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), es un factor clave del catastrófico cambio climático al que se enfrenta la sociedad actual. Dado que el dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero más

<sup>12</sup> 350 ppm es un umbral generalmente aceptado como “seguro” para la concentración de dióxido de carbono; sin embargo, el nivel preindustrial de concentración de dióxido de carbono era de aproximadamente 280 ppm:  
<https://www.noaa.gov/news-release>

común<sup>13</sup> y tiene una larga vida útil en la atmósfera,<sup>14</sup> su eliminación es imprescindible. Sin embargo, la CDR debe ampliarse sin frenar los esfuerzos de descarbonización y sin perjudicar aún más a las comunidades más vulnerables ni al medio ambiente.

Los últimos avances científicos sobre el clima<sup>15,16</sup> establecen claramente que la eliminación de dióxido de carbono (CDR) es “imprescindible para alcanzar los objetivos globales y nacionales de cero emisiones netas de dióxido de carbono y gases de efecto invernadero” (GHG, por sus siglas en inglés)<sup>17</sup>. El informe del IPCC concluye que, para limitar el calentamiento global a 1,5 grados centígrados con un sobrecalentamiento mínimo o nulo, es necesario implementar métodos de CDR a lo largo del siglo XXI.<sup>18</sup> Los niveles de CDR previstos y actuales son insuficientes para respaldar este objetivo, acentuando la urgente necesidad de invertir en investigación y en el desarrollo de un portafolio de CDR.

Casi toda la captura de dióxido de carbono actual proviene de sumideros naturales.<sup>19</sup> Globalmente, estas soluciones capturan alrededor de 2 gigatoneladas de dióxido de carbono al año. En contraste, el uso de combustibles fósiles en 2024 emitió 37,4 gigatoneladas de dióxido de carbono.<sup>20</sup> Las soluciones basadas en la naturaleza pueden y deben ampliarse. Sin embargo, el cambio climático ya está afectando a los ecosistemas de todo el mundo, reduciendo su capacidad para capturar y almacenar la cantidad de dióxido de carbono necesaria para lograr la estabilización climática.<sup>21</sup> Esto demuestra la necesidad de utilizar múltiples vías de eliminación de dióxido de carbono (CDR). Actualmente, estos nuevos proyectos de CDR representan solo el 0,1% de los esfuerzos de captura.<sup>22</sup>

---

<sup>13</sup> <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=81&t=11>

<sup>14</sup> <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/greenhouse-gases>

<sup>15</sup> <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle>

<sup>16</sup> <https://static1.squarespace.com/static>

<sup>17</sup> <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads>

<sup>18</sup> <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/spm/>

<sup>19</sup> <https://carbongap.org/sizing-up-the-gap>

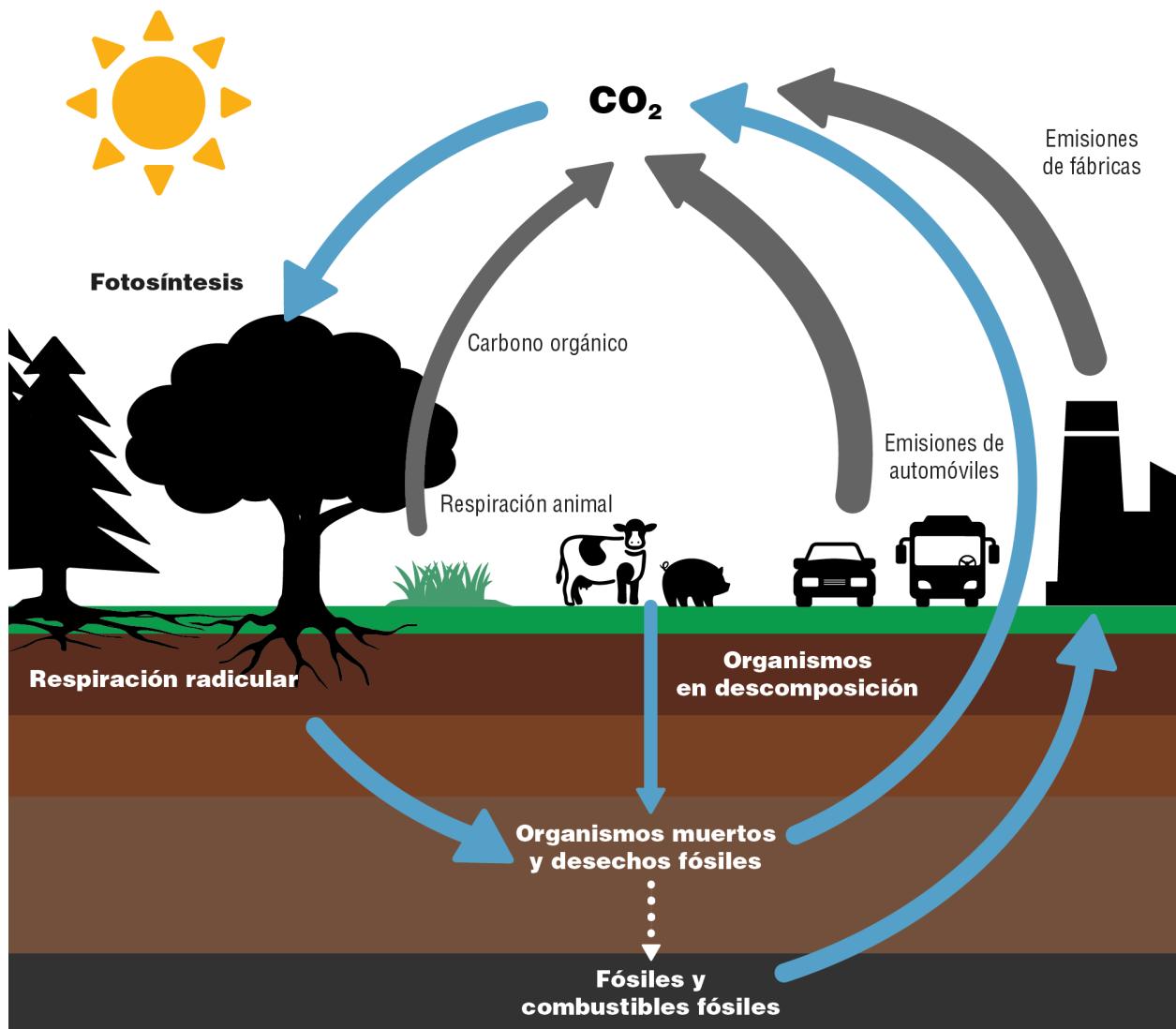
<sup>20</sup> <https://static1.squarespace.com/static>

<sup>21</sup> <https://www.theguardian.com/environment/2024/oct/14>

<sup>22</sup> <https://carbongap.org/sizing-up-the-gap>

# El ciclo, captura y almacenamiento del carbono

## El ciclo del carbono



El carbono es un elemento esencial para la vida en la Tierra,<sup>23</sup> ya que es el componente químico principal de los compuestos orgánicos que forman las células y estructuras de los organismos. El ciclo del carbono es el flujo de este elemento a través de la tierra, el agua, los organismos vivos y la atmósfera mediante la fotosíntesis, así como a través de incendios, el uso de combustibles fósiles, la meteorización y la actividad

<sup>23</sup> <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/climate/carbon-cycle>

volcánica.<sup>24</sup> Cuando se absorbe más carbono de la atmósfera hacia un depósito natural o artificial del que se libera, se denomina **sumidero de carbono**. Ejemplos de sumideros de carbono incluyen los bosques y los océanos, ya que absorben carbono mediante la fotosíntesis.

Las fuentes de carbono, como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otros cambios en el uso del suelo, liberan dióxido de carbono a la atmósfera. En el caso del uso de combustibles fósiles, el dióxido de carbono liberado es carbono *antiguo* que fue capturado y almacenado naturalmente hace millones de años y que ahora se libera abruptamente a la atmósfera.<sup>25</sup> Si bien el carbono es esencial para la vida en la Tierra, el dióxido de carbono es un gas de efecto invernadero con una larga vida en la atmósfera, que oscila entre 300 y 1000 años.<sup>26</sup> Para ponerlo en contexto, el dióxido de carbono liberado en el siglo XIX durante la Revolución Industrial aún persiste en la atmósfera. Estas emisiones históricas de dióxido de carbono incrementan el nivel global de dióxido de carbono atmosférico, lo que conlleva un aumento de las temperaturas globales. A medida que el clima cambia rápidamente, la capacidad de los bosques, los océanos y los suelos para capturar y almacenar dióxido de carbono disminuye. Para contrarrestar estos efectos, se están intensificando los esfuerzos para ampliar las formas en que se puede capturar y almacenar el dióxido de carbono atmosférico.

Mientras la sociedad trabaja para reducir drásticamente las emisiones y ampliar la tecnología de CDR, como la captura directa de aire (DAC), las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) serán cruciales para evitar los peores efectos del cambio climático y para reducir el dióxido de carbono a corto plazo mientras se investigan y amplían los nuevos enfoques de CDR. Por ejemplo, fomentar prácticas de suelo saludables, como la aplicación de compost y la siembra directa, aumentará la capacidad del suelo para capturar y almacenar carbono, reducirá las emisiones locales de pesticidas y fertilizantes, y garantizará la resiliencia de los sistemas alimentarios ante sequías prolongadas u otros impactos climáticos. Si bien las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) no almacenan carbono durante miles de años, sí pueden capturarlo durante largos períodos y ayudar a los ecosistemas a aumentar su capacidad de absorción.

---

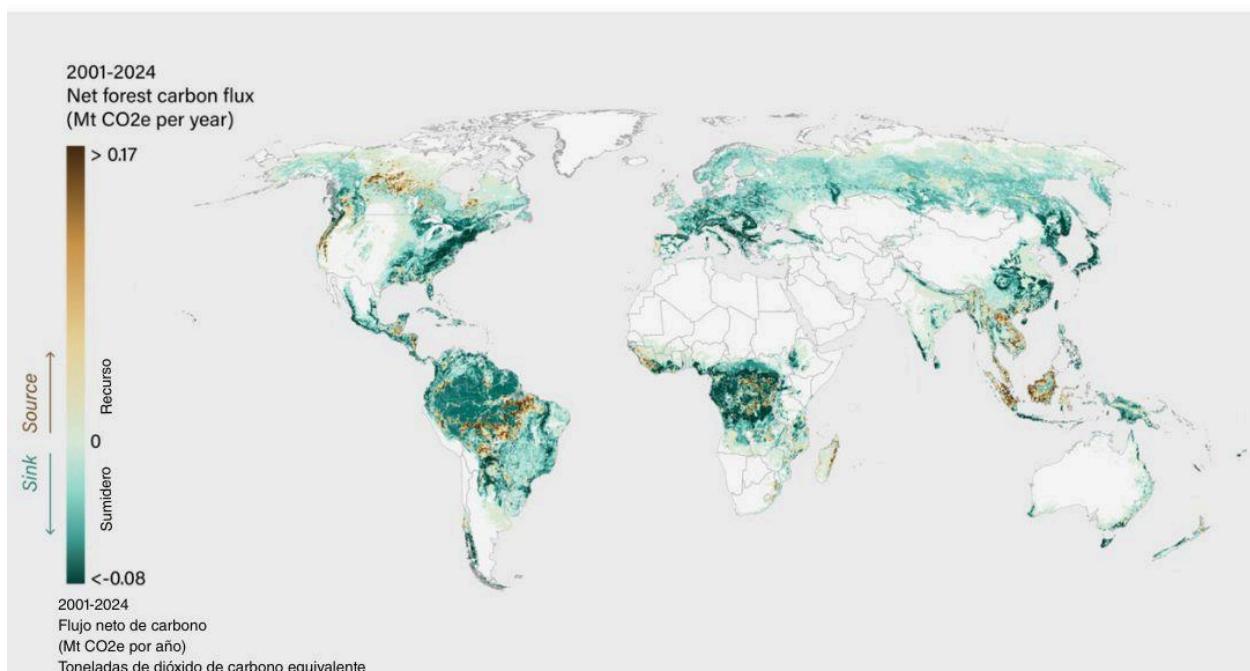
<sup>24</sup> <https://oceanservice.noaa.gov/facts/carbon-cycle.html#transcript>

<sup>25</sup> <https://www.eesi.org/topics/fossil-fuels/description>

<sup>26</sup> <https://science.nasa.gov/earth/climate-change/greenhouse-gases>

En este punto, muchos ecosistemas no pueden capturar y almacenar tanto dióxido de carbono como antes. Algunos ecosistemas se han convertido en una fuente neta de dióxido de carbono en lugar de ser un sumidero neto.<sup>27<sup>28</sup></sup> Por ejemplo, en 2001, los árboles a nivel mundial capturaron y almacenaron casi 10 Gt de dióxido de carbono al año, mientras que en 2025, los bosques han capturado y almacenado menos de 2 Gt de dióxido de carbono. Este mapa del Instituto de Recursos Mundiales muestra cómo los bosques a nivel mundial pueden ser una fuente o un sumidero de carbono. Cabe destacar que los bosques de California se comportan como una fuente de carbono principalmente debido a los incendios forestales.<sup>29</sup>

## Flujo neto de carbono en los bosques mundiales



Source: WRI, Gibbs et al. 2025 (updated with 2024 tree cover loss).

25.07.07



Fuente: WRI, Gibbs et al. 2025 (actualizado con la pérdida de cubierta arbórea de 2024).

<sup>27</sup> <https://arxiv.org/pdf/2407.12447>

<sup>28</sup> <https://www.newscientist.com/article>

<sup>29</sup> <https://www.wri.org/insights/forest-carbon-sink-shrinking-fires-deforestation>

## ¿Cómo funciona la CDR?

La lucha contra el cambio climático, una amenaza existencial para la vida tal como la conocemos en nuestro planeta, requiere un enfoque integral que utilice todas las herramientas disponibles para mitigar sus peores efectos, proteger a las comunidades y preservar los ecosistemas.

Los métodos de CDR pueden entenderse como un espectro. En un extremo se encuentran las soluciones basadas en la naturaleza, como la reforestación, que aprovechan el poder de los ecosistemas para capturar dióxido de carbono, beneficiando a la vez a las personas y al medio ambiente. En el otro extremo del espectro se encuentran las tecnologías industriales de CDR, como la captura directa de aire, que emplean tecnología para eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera. En el punto medio del espectro se sitúan los métodos híbridos como el biocarbón o la meteorización mejorada de rocas (ERW), que utilizan tecnología para potenciar los procesos naturales de captura y almacenamiento de dióxido de carbono. Estos métodos se explican con mayor detalle en la Tabla A. Estos métodos también varían en cuanto a los plazos de almacenamiento de dióxido de carbono, los costos, la madurez de la tecnología y los factores de riesgo. **Se requiere más investigación y desarrollo para identificar qué métodos de CDR serán las soluciones más beneficiosas, asequibles, equitativas, seguras y escalables.**

Un proyecto responsable de CDR posee, en términos generales, las siguientes características:

1. Permite almacenar dióxido de carbono de forma duradera y de manera que pueda ser monitoreado, medido, reportado y verificado fácilmente;
2. Es escalable y puede contribuir al conjunto de prácticas de CDR necesarias para lograr los compromisos de emisiones netas negativas;
3. No genera ni agrava daños sociales o ambientales e involucra a las comunidades locales en el proceso de planificación cuando corresponde;
4. Es rentable a gran escala;
5. En última instancia, resulta en emisiones netas negativas, considerando un análisis completo del ciclo de vida que incluye cambios en el uso del suelo, la fabricación de componentes y productos químicos, las fugas, el consumo de energía y los impactos en la red eléctrica.

La CDR puede describirse como un proceso ‘gradual, no instantáneo’,<sup>30</sup> ya que las estimaciones sobre la cantidad necesaria varían. Lograr que las temperaturas globales vuelvan a situarse por debajo de los 1,5 grados centígrados en la era industrial, o que se mantengan por debajo del umbral de los 2 C, depende de la rapidez y la magnitud de la reducción de las emisiones actuales. Si el mundo consigue mantenerse por debajo de los 1,7 C de calentamiento global, los niveles actuales de CDR, principalmente a partir de soluciones basadas en la naturaleza, podrían ser suficientes. Sin embargo, si el calentamiento global supera los 1,7 C, será necesario aumentar la capacidad de captura de dióxido de carbono.<sup>31</sup> Dado el limitado progreso en la reducción de emisiones, los modelos actuales sugieren que necesitaremos una eliminación de dióxido de carbono de entre 7 y 9 gigatoneladas anuales a nivel mundial para 2050, con el fin de cumplir los objetivos del Acuerdo de París.<sup>32</sup>

Según el Plan de Alcance de 2022, se estima que los niveles de eliminación de dióxido de carbono (CDR) mediante métodos basados en la naturaleza capturan y almacenan alrededor de 1,5 millones de toneladas métricas (MMT) de dióxido de carbono al año en California, muy por debajo de los 7 a 75 MMT de CDR necesarios para que el estado alcance sus objetivos climáticos.<sup>33</sup> Sin embargo, es fundamental seguir ampliando las soluciones basadas en la naturaleza, ya que ofrecen múltiples vías de CDR y, al mismo tiempo, crean comunidades y ecosistemas más resilientes ante el rápido deterioro climático. Por ejemplo, los bosques bien gestionados capturan y almacenan dióxido de carbono, protegen contra incendios forestales devastadores y brindan oportunidades para la recreación. De manera similar, la creación de calles verdes en áreas urbanas elimina dióxido de carbono, contribuye a la calidad del aire y protege a la población del calor extremo. Si las tierras naturales y productivas de California se gestionan adecuadamente, podrían volver a ser sumideros de carbono en lugar de fuentes de carbono.

La rápida descarbonización debe seguir siendo fundamental para la acción climática a fin de reducir la justicia ambiental y limitar la dependencia de tecnologías de CDR no probadas. A medida que las comunidades y los países se descarbonizan, financiar la investigación y el desarrollo de nuevos enfoques de CDR será crucial, ya que

---

<sup>30</sup> <https://carbon180.org/blog/carbon-removal-and-the-path-back-to-1-5c/>

<sup>31</sup> Ibid.

<sup>32</sup> <https://www.stateofcdr.org/>

<sup>33</sup> <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-32-climate-change-scoping-plan>

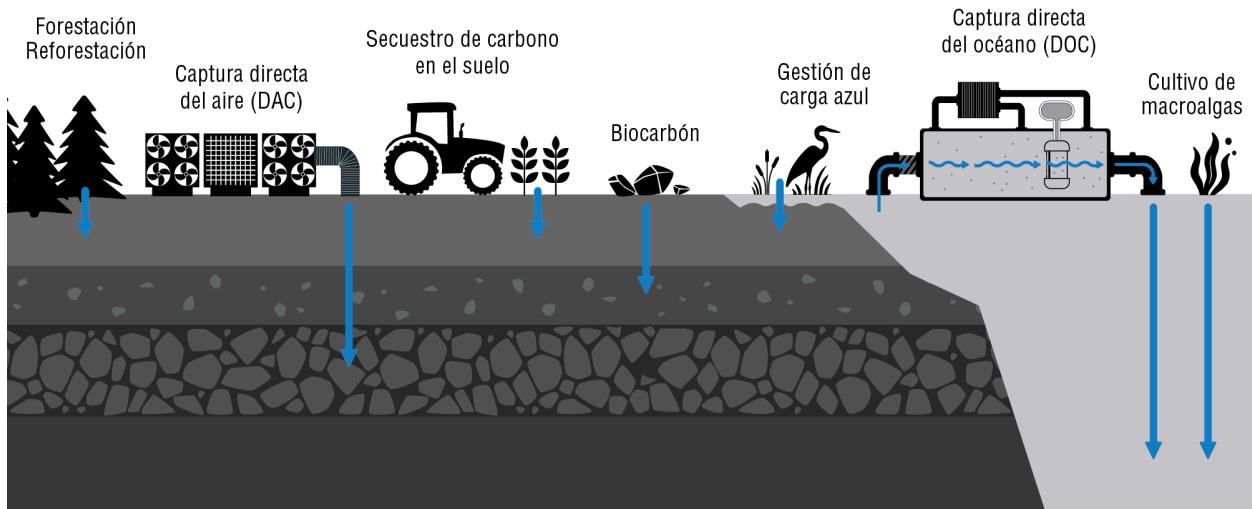
normalmente se requieren décadas para desarrollar y ampliar estas iniciativas. La CDR es un recurso ‘valioso, pero limitado’,<sup>34</sup> y no resolverá la crisis climática por sí sola. Para garantizar que la descarbonización siga siendo fundamental en las estrategias de acción climática, California puede establecer objetivos específicos para la reducción de emisiones, las soluciones basadas en la naturaleza y los nuevos enfoques de CDR, con la debida supervisión. Sin la supervisión y la regulación adecuadas, la promesa de la CDR podría postergar los esfuerzos cruciales de descarbonización, permitiendo así que el cambio climático continúe descontrolado.

---

<sup>34</sup> <https://carbon180.org/blog/carbon-removal-and-the-path-back-to-1-5c/>

## Tabla de métodos utilizados para la eliminación de dióxido de carbono

### Enfoques seleccionados para la eliminación de dióxido de carbono



Tener en cuenta que The Climate Center no respalda todos los métodos de eliminación de dióxido de carbono (CDR). La tabla a continuación ofrece una visión general de los métodos actuales de CDR, no una recomendación para futuras investigaciones ni para la formulación de políticas.

Esta tabla destaca los beneficios y riesgos de muchas de las estrategias de eliminación de dióxido de carbono (CDR) más importantes, subrayando la necesidad de emplear un conjunto de soluciones. Los responsables políticos deben considerar cuidadosamente estos factores al respaldar un conjunto de opciones de CDR y trabajar para maximizar los beneficios colaterales, como la mejora de la calidad del aire, la mitigación del calor extremo y el aumento de la resiliencia de las comunidades ante el cambio climático. Los análisis del ciclo de vida de estas estrategias pueden ayudar a identificar los riesgos y beneficios de cada una.

## LEYENDA

COSTO / T DIOXIDO DE CARBONO	TIPO DE TECNOLOGÍA	ESTADO DE LA TECNOLOGÍA
\$ \$ 0-100	 Basada en la naturaleza	 En desarrollo
\$\$ \$ 101-500	 Híbrida	 En fase piloto y de investigación a pequeña escala
\$\$\$ Mayor a \$ 500	 Industrial	 Lista para el escalado

### Forestación, reforestación y gestión forestal

Prácticas de gestión forestal incluyen conservación de bosques, forestación (plantación de árboles en nuevas áreas), reforestación (restauración de bosques mediante la plantación de nuevos árboles) y prácticas de gestión para aumentar la resiliencia de los bosques frente a incendios forestales

Durabilidad	\$
<u>10-100 años</u>	

#### BENEFICIOS

- ❖ Aire limpio
- ❖ Conservación del hábitat
- ❖ Protección de la biodiversidad
- ❖ Oportunidades de recreación

#### DESVENTAJAS

- Los incendios forestales y los cambios en el uso del suelo pueden liberar dióxido de carbono a la atmósfera

### Captura y almacenamiento de carbono en el suelo

Utilizando medidas para restaurar el carbono del suelo y capturar y almacenar dióxido de carbono mediante diversas prácticas de manejo de la tierra, como la siembra directa, los cultivos de cobertura y la aplicación de compost

Durabilidad	\$
Varía de años a milenios	

#### BENEFICIOS

- ❖ Mejora de la salud del suelo
- ❖ Mayor resiliencia climática en las cadenas de suministro de alimentos
- ❖ Reducción del uso de fertilizantes y pesticidas
- ❖ Mejora de la retención de agua en el suelo y menor necesidad de riego

#### DESVENTAJAS

- Los suelos pueden saturarse de carbono y, a partir de cierto punto, ya no podrán capturarlo y almacenarlo
- El carbono puede liberarse al remover el suelo
- El monitoreo, reporte y verificación (MRV) resultan difíciles para la captura y almacenamiento de carbono en el suelo
- Existen contrapartidas con otras emisiones de GHG como el metano y el óxido nitroso
- La siembra directa suele lograrse mediante un mayor uso de herbicidas, lo que también puede generar emisiones de gases de efecto invernadero (GHG) y resultar tóxico para la salud de la comunidad

<b>Gestión del carbono azul</b> <i>El carbono almacenado en los sedimentos y en las plantas submarinas se conoce como "carbono azul". La restauración de hábitats costeros y marinos (manglares, praderas marinas, marismas) es una forma de ampliar la captación de dióxido de carbono en la atmósfera</i>	<b>Durabilidad</b> 1000 + años	\$
		

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Apoyar el suministro local de alimentos</li> <li>❖ Proporcionar hábitat para la vida marina</li> <li>❖ Apoyar el turismo</li> <li>❖ Contribuir a reducir la acidificación de los océanos</li> <li>❖ Construir resiliencia ante fenómenos meteorológicos extremos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Demostrar la adicionalidad puede resultar difícil</li> <li>➔ La reversibilidad de la captura y almacenamiento de carbono ante cambios o alteraciones en el uso del suelo</li> <li>➔ MRV puede resultar difícil</li> </ul>

<b>Biocarbón</b> <i>Se obtiene mediante la combustión de biomasa (madera, residuos de cultivos) en unidades de pirólisis con control de altas temperaturas y de oxígeno. El biocarbón resultante se aplica al suelo como enmienda</i>	<b>Durabilidad</b> 100-1000 años	\$-\$
		

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ La mejora de la calidad del suelo reduce la necesidad de fertilizantes y constituye una fuente potencial de energía al convertir la biomasa</li> <li>❖ Posibles usos en la recuperación de suelos como parte de la limpieza de terrenos contaminados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Es reversible; si se remueve el suelo con biocarbón, este puede liberarse nuevamente a la atmósfera</li> <li>➔ La contaminación atmosférica es una preocupación con el biocarbón, ya que el proceso de pirólisis puede liberar contaminantes como partículas en suspensión (PM), óxidos de nitrógeno (NOx), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)</li> <li>➔ El monitoreo, reporte y verificación (MRV) pueden resultar difíciles</li> <li>➔ Tiene el potencial de ser carbono positivo si no se implementan las medidas de protección adecuadas, como la producción de materia prima y el cambio en el uso del suelo aguas arriba, el transporte en camiones y trenes diésel y las necesidades energéticas</li> </ul>

<b>Meteorización mejorada de rocas</b> <i>Esparcimiento de minerales triturados para absorber dióxido de carbono de la atmósfera</i>	<b>Durabilidad</b> 1000 + años	\$-\$

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mejora la fertilidad del suelo y tiene potencial para ayudar a reducir la acidificación de los océanos</li> <li>❖ La reutilización de los residuos mineros permite aprovechar un subproducto</li> <li>❖ Puede integrarse con otras prácticas agrícolas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ MRV complicado</li> <li>➔ El potencial de que los metales traza acaben en el suelo y alteren la alcalinidad de las aguas subterráneas y de los ríos</li> <li>➔ Gases de efecto invernadero (GHG) asociados al origen y al transporte de los materiales</li> </ul>

<b>Aumento de la alcalinidad oceánica</b> <i>Agregar materiales alcalinos al océano para mejorar su capacidad natural de absorber carbono</i>	<b>Durabilidad</b> 100,000 años	\$-\$

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Contrarrestar la acidificación de los océanos</li> <li>❖ Coproducción de hidrógeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Algunos materiales alcalinos pueden contener metales de traza que pueden acumularse en los alimentos</li> <li>➔ Alto consumo de energía</li> <li>➔ Riesgos desconocidos de este tipo de geoingeniería en la fase inicial de desarrollo podrían afectar negativamente a los ecosistemas oceánicos y a los ciclos naturales</li> </ul>

<b>Fertilización oceánica</b> <i>La fertilización del océano con hierro o nitrógeno y fósforo aumenta el crecimiento del fitoplancton, que absorbe dióxido de carbono y lo transforma en carbono orgánico</i>	<b>Durabilidad</b> 100+ años	\$-\$

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Alto potencial de eliminación de carbono (1-5 gigatoneladas al año)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Solo funciona si el carbono orgánico se hunde hasta el fondo del océano</li> <li>➔ Potencial de mala gestión debido a la extracción de hierro a bajo costo</li> <li>➔ Consecuencias no deseadas como impactos negativos en los ecosistemas, cambios en la calidad del agua, alteraciones en los ciclos de nutrientes, potencial desoxigenación, floraciones de algas nocivas y disminución de las poblaciones de peces</li> </ul>

<b>Cultivo y hundimiento de algas marinas</b>  <i>Cultivar y hundir intencionalmente algas en mar abierto para almacenar dióxido de carbono en las profundidades del océano</i>	<b>Durabilidad</b> 100-1000s años	\$-\$\$\$

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Puede ayudar a mitigar la acidificación de los océanos y a mejorar la calidad del agua al absorber contaminantes por nutrientes</li> </ul>	<p>→ Puede que no se capture y almacene tanto dióxido de carbono como se promete; se desconocen las consecuencias de verter algas marinas en el fondo oceánico; se requiere una gran cantidad de masa para alcanzar 1 Gt de dióxido de carbono equivalente (<math>\text{CO}_2\text{e}</math>); puede alterar el flujo de nutrientes en el ecosistema circundante</p>

<b>Afloramiento Artificial (AU) y Hundimiento Artificial (AD)</b>  <i>Un método de eliminación de dióxido de carbono (CDR) marino que utiliza tuberías verticales para el reciclaje de agua entre la superficie y las profundidades oceánicas. El agua de afloramiento favorece el crecimiento del fitoplancton, mientras que el agua de hundimiento transporta agua rica en carbono hacia las profundidades oceánicas</i>	<b>Durabilidad</b> 10-100 años	\$\$

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ La tecnología AU podría reducir la temperatura del agua superficial en regiones cálidas.</li> <li>❖ Puede ayudar a aumentar las poblaciones de peces y a mejorar el crecimiento de las algas marinas.</li> </ul>	<p>→ La tecnología AU tiene un gran efecto de terminación; es decir, si se interrumpe, la temperatura podría ser más alta que si nunca se hubiera utilizado.</p> <p>→ La tecnología AU puede provocar cambios en los patrones de lluvia y sequía y contribuir a la acidificación de los océanos.</p> <p>→ Puede entrar en conflicto con la industria naviera y la pesquera a gran escala.</p>

<b>Captura Directa del Océano (DOCS)</b>  <i>El agua de mar se introduce en un tanque, donde una pequeña porción se desvía y se somete a electrodialisis para separar las moléculas de agua en un ácido y una base. El ácido se reintroduce en el tanque para convertir el carbono inorgánico en dióxido de carbono, que luego pasa por una cámara donde se captura el gas. El agua libre de dióxido de carbono se almacena en otro tanque donde se le añade la base para neutralizar el agua de mar ácida. El agua de mar, neutralizada y libre de dióxido de carbono, se devuelve al océano</i>	<b>Durabilidad</b> 10,000 años	\$\$\$-\$\$\$\$

BENEFICIOS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Es más fácil separar el dióxido de carbono que realizar la captura directa de carbono (DCC) debido a su mayor concentración en el agua. La eliminación de carbono puede contrarrestar la acidificación de los océanos e integrarse con plantas desalinizadoras</li> </ul>	<p>→ Puede aumentar la contaminación acústica oceánica, alterar los ecosistemas marinos y generar gas cloro</p>

<b>Captura directa de aire (DAC)</b> <i>Filtrar el dióxido de carbono del aire y almacenarlo bajo tierra o utilizarlo para fabricar productos comerciales, como materiales de construcción y productos químicos</i>	<b>Durabilidad</b> EN MATERIALES: 10-100 años ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO: 10,000-1,000,000s años	\$-\$\$\$\$
	 	

<b>BENEFICIOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Flexibilidad de emplazamiento: no requiere tierras cultivables</li> <li>❖ MRV es más preciso</li> <li>❖ Oportunidades de empleo para empleados del sector del petróleo y el gas</li> </ul>	<b>DESVENTAJAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Consumir mucha energía y agua</li> <li>➔ Se utiliza en otros estados para la recuperación mejorada de petróleo</li> <li>➔ El transporte y el almacenamiento geológico de dióxido de carbono pueden provocar fugas que contaminen las fuentes de agua locales, perjudiquen a las comunidades o induzcan actividad sísmica</li> <li>➔ Es improbable que se beneficie de las economías de escala, ya que el principal coste es el consumo de energía</li> </ul>
---	--

<b>Biomasa con eliminación de dióxido de carbono y almacenamiento (BiCRS)</b> <i>La BiCRS consiste en captar el dióxido de carbono de las plantas. Estas plantas (biomasa) pueden enterrarse para almacenar dióxido de carbono o calentarse para generar subproductos, como biocarbón, bioaceite y dióxido de carbono. El dióxido de carbono se almacena en formaciones geológicas o en productos de tecnología de carbono</i>	<b>Durabilidad</b> 100-1000 años	\$\$
	 	

<b>BENEFICIOS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Fuente de energía para biocombustibles y método para ayudar a eliminar los residuos de biomasa leñosa de los suelos forestales, contribuyendo a reducir el riesgo de incendios forestales</li> <li>❖ Puede generar beneficios económicos para los agricultores por sus residuos agrícolas</li> </ul>	<b>DESVENTAJAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Sin las debidas medidas de seguridad, el abastecimiento de materias primas puede afectar la seguridad alimentaria y los precios debido a los requisitos de uso de la tierra, provocar la pérdida de biodiversidad, agotar los recursos hídricos, aumentar el uso de fertilizantes y pesticidas y provocar la pérdida de carbono del suelo</li> <li>➔ Puede incrementar la contaminación del aire y del agua debido al transporte en camiones o trenes diésel; el uso de oleoductos para transportar dióxido de carbono puede perjudicar a las comunidades locales.</li> <li>➔ El procesamiento de biomasa puede aumentar la contaminación atmosférica tóxica y de referencia</li> </ul>
---	---

## Ventajas y desafíos de la eliminación de dióxido de carbono basada en la naturaleza

Ampliar la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (NBS) es fundamental no solo para alcanzar los objetivos climáticos estatales, tal como se describen en la Ley AB 1279 (Muratsuchi, 2022), sino también para crear comunidades y ecosistemas resilientes frente al cambio climático. Las prácticas agrícolas sostenibles pueden capturar carbono y proteger los cultivos de la sequía. La protección de los bosques puede capturar carbono y reducir el riesgo y la propagación de incendios forestales. La restauración de humedales, praderas y otros ecosistemas capturará carbono y proporcionará espacios para la biodiversidad, la alimentación y la recreación.

La importancia de las soluciones basadas en la naturaleza se ha reconocido a nivel mundial. En 2022, 190 países firmaron el Marco Mundial de Biodiversidad de Kunming-Montreal, comprometiéndose a proteger el 30 % de las tierras, zonas costeras, marinas y aguas continentales del mundo para 2030.<sup>35</sup> California también se ha comprometido con la meta 30x30<sup>36</sup> y, a junio de 2025, ya había conservado el 26,1 % de sus tierras y el 21,9 % de sus aguas costeras.<sup>37</sup> Estos compromisos mundiales demuestran la importancia de proteger los ecosistemas y ampliar la implementación de las soluciones NBS.

Incluido en medio de los crecientes extremos del cambio climático, las comunidades de California pueden ser resilientes y estar preparadas si se implementan soluciones basadas en la naturaleza a gran escala. Los árboles que dan sombra a las aceras protegen a las personas del calor extremo, los suelos agrícolas gestionados con cuidado sustentan redes alimentarias resilientes y la conservación de espacios naturales como los prados de montaña protege contra desastres naturales y ofrece oportunidades de recreación esenciales para todos los residentes de California.

Si bien la mayor parte de la CDR se logra actualmente mediante soluciones basadas en la naturaleza, aún persisten importantes desafíos.<sup>38</sup><sup>39</sup> Se prevé que los incendios

<sup>35</sup> <https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-priorities/protect-water-and-land>

<sup>36</sup> <https://www.californianature.ca.gov/>

<sup>37</sup> <https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/2025-30x30-Pathways-Progress-Report.pdf>

<sup>38</sup> <https://10insightsclimate.science/year-2023/4-over-reliance-natural-carbon-sinks-risky-strategy/>

<sup>39</sup> [https://10insightsclimate.science/wp-content/uploads/2023/12/10NICS-2023-Report\\_digital.pdf](https://10insightsclimate.science/wp-content/uploads/2023/12/10NICS-2023-Report_digital.pdf)

forestales, las sequías, el calor, las inundaciones y las plagas aumenten debido al cambio climático, lo que plantea interrogantes sobre la sostenibilidad de las soluciones basadas en la naturaleza en términos de captura y almacenamiento de carbono. Por ejemplo, cuando los incendios forestales arrasan los bosques, el carbono capturado y almacenado en los árboles se libera de nuevo a la atmósfera. Esto ya ha afectado el progreso de California hacia sus objetivos climáticos. Tan solo los intensos incendios forestales de 2020 representaron el 30 % de las emisiones de gases de efecto invernadero del estado y duplicaron las reducciones de emisiones logradas entre 2003 y 2019.<sup>40</sup> Los incendios de Los Ángeles de 2025 liberaron más contaminación por carbono que la que emitieron todos los vehículos de pasajeros del estado en un mes.<sup>41</sup>

**El monitoreo, reporte y verificación (MRV)** es un aspecto fundamental de cualquier proyecto de eliminación de dióxido de carbono (CDR), ya que permite evaluar la eficacia de un enfoque de CDR, fomentando así la transparencia y la rendición de cuentas en este campo en auge. El MRV se refiere a la actividad de medir la captura de dióxido de carbono, reportar esta información a los compradores y someterla a la verificación de su exactitud por parte de un tercero. Por consiguiente, la coherencia entre los estándares de MRV es crucial para establecer créditos de eliminación de dióxido de carbono creíbles,<sup>42</sup> un desafío debido a la complejidad de los ecosistemas y la necesidad de considerar las condiciones específicas de cada sitio.<sup>43</sup> Determinar la adicionalidad de los proyectos de Soluciones Basadas en la Naturaleza (NBS) también puede resultar difícil. Por ejemplo, si un proyecto afirma que está conservando un bosque que de otro modo habría sido objeto de tala, cuando ese bosque nunca estuvo destinado a la tala, entonces no existe ningún beneficio adicional en dicha práctica.

Es importante destacar que las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) pueden integrarse en los marcos de eliminación de dióxido de carbono (CDR) ya establecidos y constituyen una parte fundamental de la cartera de CDR. Para abordar la cuestión de la permanencia, los créditos para NBS pueden acumularse vertical u horizontalmente. La acumulación horizontal de NBS consiste en la compra de múltiples créditos a corto plazo durante un período determinado, mientras que la acumulación vertical implica la compra de múltiples créditos por adelantado. Mecanismos de financiación

---

<sup>40</sup> <https://news.uchicago.edu/story/wildfires-are-erasing-californias-climate-gains-research-shows>

<sup>41</sup> <https://www.forbes.com/sites/kensilverstein/2025/08/03/californias-wildfire-emissions>

<sup>42</sup> <https://www.wri.org/technical-perspectives/measurement-reporting-verification-of-carbon-removal>

<sup>43</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332224004196>

innovadores, como el Fondo de Permanencia<sup>44</sup> o los seguros<sup>45</sup>, pueden contribuir a garantizar que estas soluciones escalen de forma que favorezcan una captura de carbono más permanente.

## **Estudio de caso – Soluciones basadas en la naturaleza en el paisaje de Sierra-Cascade<sup>46</sup>**



Monitor Pass en el Condado de Alpine. Imagen de Sierra Nevada Conservancy.

Las soluciones basadas en la naturaleza (NBS) aprovechan el poder de la naturaleza para abordar la crisis climática mediante la eliminación del dióxido de carbono atmosférico y la creación de comunidades y paisajes resilientes. Ejemplos de cómo las NBS apoyan la resiliencia de los ecosistemas y las comunidades se encuentran en los proyectos financiados por Sierra Nevada Conservancy (SNC) a lo largo de la región montañosa de Sierra Nevada-Cascade. En el cañón del río South Yuba, el tratamiento de reducción de combustible y las quemas prescritas disminuyen el riesgo de incendios forestales, protegiendo los bosques y las comunidades cercanas. En el condado de Butte, un extenso proyecto de restauración forestal tras el incendio de Camp Fire ayudó a prevenir la conversión masiva del paisaje de bosque a matorral. Este proyecto volvió a

<sup>44</sup> <https://www.forestfoundation.org/permanence-trust/>

<sup>45</sup> <https://www.carbonpool.earth/>

<sup>46</sup> <https://sierranevada.ca.gov/nature-at-work-building-climate-resilience-in-the-sierra-cascade/>

introducir especies nativas y colaboró con la tribu Maidu local para incorporar el conocimiento ecológico tradicional en el proyecto de reforestación. Esto también demuestra cómo las NBS pueden ayudar a las comunidades a recuperarse de un desastre climático y protegerse del futuro. En el condado de Alpine, un proyecto de restauración de praderas garantizó que el paisaje no volviera a convertirse en bosque. Este esfuerzo ayuda a proteger los beneficios hidrológicos, conservar los hábitats de una variedad de plantas y animales, y reducir el riesgo de incendios forestales de alta intensidad.

## Ventajas y desafíos de la eliminación híbrida e industrial de dióxido de carbono

Si bien existen muchas tecnologías emergentes de eliminación de dióxido de carbono (CDR), la DAC, el almacenamiento de carbono bioquímico (BiCRS) y la eliminación de carbono microporoso (mCDR) tienen una presencia significativa en California. La **captura directa de aire (DAC)** utiliza reacciones químicas para filtrar el dióxido de carbono de la atmósfera. Estos productos químicos son solventes líquidos o sorbentes sólidos, y reaccionan con el dióxido de carbono atmosférico. Esta combinación se calienta para separar el dióxido de carbono capturado y almacenarlo bajo tierra o en productos.<sup>47</sup> El monitoreo, reporte y verificación (MRV) para DAC son relativamente sencillos, ya que el responsable del proyecto puede medir directamente la cantidad de dióxido de carbono capturado en su proceso, y existe una gran oportunidad para ampliar su implementación. A medida que la tecnología DAC madura y se expande, se prevé que los costos disminuyan. La expansión de la DAC es una característica común de casi todos los planes de neutralidad de carbono a nivel estatal,<sup>48</sup> federal<sup>49</sup> e incluso internacional.<sup>50</sup> Sin embargo, la captura directa de carbono (DAC) es costosa y requiere muchos recursos. Un sistema DAC con solventes tiene una tasa de evaporación de

<sup>47</sup> <https://www.wri.org/insights/direct-air-capture-resource-considerations-and-costs-carbon-removal>

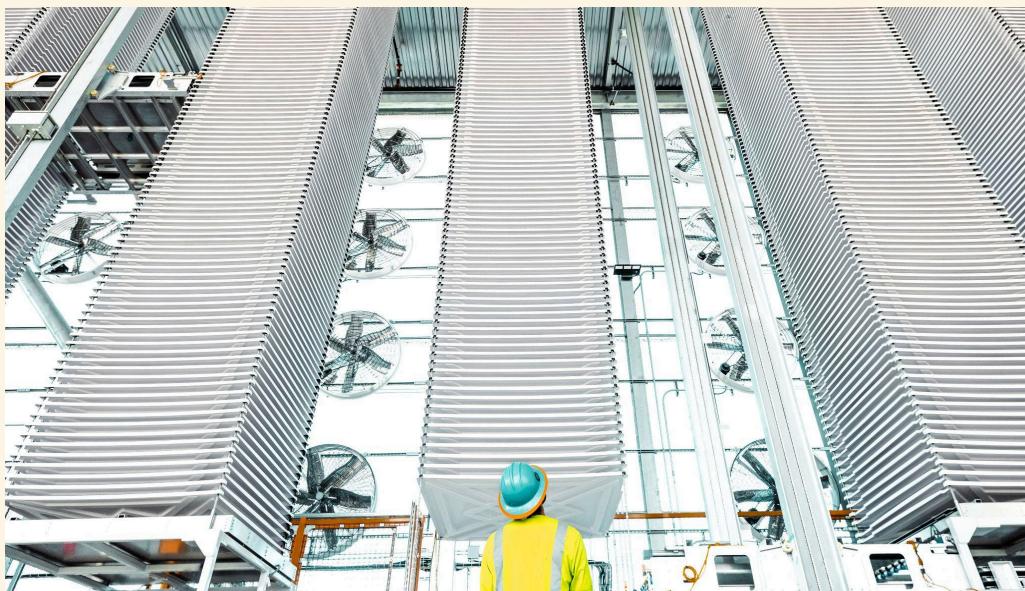
<sup>48</sup> <https://www.gov.ca.gov/2022/11/16/california-releases-worlds-first-plan-to-achieve-net-zero-carbon>

<sup>49</sup> <https://www.sustainability.gov/pdfs/united-states-nzgi-roadmap.pdf?ref=newsletters.holoniq.com>

<sup>50</sup> [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15\\_Chapter\\_2\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SR15_Chapter_2_LR.pdf)

agua de hasta 50 toneladas por tonelada de dióxido de carbono capturada. Para capturar una tonelada de dióxido de carbono, un sistema DAC consume 2000 kWh de energía, más del doble del consumo eléctrico mensual de un hogar estadounidense promedio<sup>51</sup>. Se estima que, una vez que la DAC alcance los 8 millones de toneladas métricas de captura anual, consumirá hasta el 0,4 % de la generación total de electricidad en Estados Unidos.<sup>52</sup> Si bien este porcentaje es pequeño, sus impactos se sentirán profundamente a nivel local.<sup>53</sup> Las plantas DAC deben alimentarse con fuentes de energía limpia para garantizar la captura neta de carbono.

### **Estudio de caso – Pionera en el país: Planta de captura directa de aire (DAC) de Heirloom**



Un ingeniero de Heirloom en la primera instalación comercial de captura directa de carbono (DAC) de Estados Unidos. Imagen cortesía de Heirloom.

<sup>51</sup> <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=97&t=3>

<sup>52</sup> <https://www.wri.org/insights/direct-air-capture-resource>

<sup>53</sup> <https://carbon180.org/blog/energy-and-water-use-for-dac/>

La planta de captura directa de aire (DAC) de Heirloom<sup>54</sup> en Tracy, California utiliza piedra caliza para extraer dióxido de carbono de la atmósfera. Un ventilador mueve el aire del ambiente sobre bandejas de piedra caliza, que absorbe el dióxido de carbono. Posteriormente, la piedra caliza se calienta en un horno alimentado con energía renovable para extraer el dióxido de carbono. El dióxido de carbono capturado se utiliza en la producción de hormigón o se almacena bajo tierra, y la piedra caliza regresa a las pilas de bandejas, donde el proceso se repite. Heirloom se enfocó en utilizar la piedra caliza por ser un material abundante<sup>55</sup> y fácil de procesar<sup>56</sup>, lo que reduce los costos operativos totales. Esta planta es el primer proyecto comercial de DAC en Estados Unidos y se esfuerza por cumplir con las prácticas responsables de implementación de CDR establecidas por la empresa. Sus cuatro principios<sup>57</sup> de alta responsabilidad en la eliminación del dióxido de carbono se crearon con la participación de diversas partes interesadas y proporcionan las mejores prácticas básicas que otras empresas de CDR pueden seguir. Estos principios incluyen no aceptar dinero de empresas de petróleo y gas, no permitir que el dióxido de carbono capturado se utilice para la recuperación mejorada del petróleo (EOR), utilizar el monitoreo, reporte y verificación (MRV) como herramienta de transparencia y la creación conjunta de acuerdos de beneficio comunitario (CBA, por sus siglas en inglés). Además, las instalaciones se construyeron con mano de obra sindicalizada y Heirloom ha facilitado un modelo de gobernanza comunitaria en el que se reúnen trimestralmente con grupos comunitarios del condado de San Joaquín para abordar inquietudes y encontrar formas de que la comunidad se beneficie de este proyecto.

Además, las comunidades han expresado su preocupación por el uso de oleoductos para transportar el dióxido de carbono capturado. El dióxido de carbono es un gas asfixiante, por lo que, si un oleoducto falla, puede dañar gravemente a la comunidad y al medio ambiente circundantes. La DAC se puede construir directamente sobre un sitio de almacenamiento geológico, eliminando la necesidad de kilómetros de oleoductos. Además, las distancias más cortas de los oleoductos de dióxido de carbono también conllevan un menor riesgo financiero en su construcción y operación.<sup>58</sup> Para evitar riesgos para la salud pública derivados de la rotura de oleoductos o instalaciones de almacenamiento geológico, es necesario establecer

<sup>54</sup> <https://www.heirloomcarbon.com/news/heirloom-unveils-americas-first-commercial-direct-air-capture>

<sup>55</sup> <https://www.mdpi.com/2076-3298/11/12/283>

<sup>56</sup> Ibid.

<sup>57</sup> <https://www.heirloomcarbon.com/news/the-new-climate-economy-needs-rules-of-the-road>

<sup>58</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S175058362200055X>

criterios de distancia de seguridad adecuados y otras medidas de protección que garanticen un transporte y almacenamiento de dióxido de carbono responsables. Investigaciones recientes han creado una ecuación de ‘riesgo’<sup>59</sup> para los oleoductos de dióxido de carbono que podría servir como punto de partida para establecer distancias de seguridad significativas entre el transporte de dióxido de carbono y las comunidades. Actualmente, algunos proyectos de captura directa de carbono (DAC) son propuestos por empresas combustibles fósiles, lo que socava los objetivos climáticos y de eliminación de carbono (CDR).<sup>60</sup>

**La biomasa con eliminación de carbono (BiCRS),**<sup>61</sup> también conocida como **BECCS (energía de biomasa con captura y almacenamiento de carbono)**, describe procesos que extraen dióxido de carbono de plantas y algas mediante un proceso de ingeniería (gasificación, pirólisis, combustión, etc.) para eliminar el dióxido de carbono de la atmósfera y almacenarlo a largo plazo, o para crear productos que reemplacen a los combustibles fósiles.<sup>62</sup> BiCRS cambia el enfoque final del proceso BECCS, pasando de maximizar la producción de energía a priorizar la captura y almacenamiento de dióxido de carbono.<sup>63</sup> La captura y almacenamiento de carbono en biomasa (BiCRS) podría ayudar a California a abordar su problema de residuos de biomasa. Se estima que California genera anualmente entre 54 y 56 millones de toneladas métricas secas (BDT, por sus siglas en inglés) de residuos de biomasa.<sup>64</sup> Esto incluye residuos forestales, agrícolas, de aserraderos y de otras fuentes. Si no se gestionan, estos residuos liberarán dióxido de carbono a la atmósfera al descomponerse o quemarse. Por lo tanto, la BiCRS representa una oportunidad interesante para convertir los residuos en captura de carbono. Sin embargo, este enfoque de eliminación de carbono (CDR) también es muy costoso,<sup>65</sup> requiere mucha energía y genera preocupación en la comunidad con respecto a los contaminantes atmosféricos, el uso de oleoductos de dióxido de carbono y la procedencia de la biomasa. Si bien la BiCRS puede tener costos iniciales más bajos que la captura directa de carbono (DAC), esta tecnología podría no beneficiarse de las economías de escala debido a la limitada disponibilidad de materias primas.<sup>66</sup> La tecnología BiCRS

---

<sup>59</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667143324000751?via%3Dihub>

<sup>60</sup> <https://www.epa.gov/uic/r9-uic-permits#class-vi>

<sup>61</sup> [https://www.icef.go.jp/pdf/summary/roadmap/icef2020\\_roadmap.pdf](https://www.icef.go.jp/pdf/summary/roadmap/icef2020_roadmap.pdf)

<sup>62</sup> <https://www.wri.org/insights/sustainable-biomass-carbon-removal>

<sup>63</sup> <https://carbon180.org/pathway/biomass-carbon-removal-and-storage/>

<sup>64</sup> <https://str.llnl.gov/past-issues/januaryfebruary-2022/path-carbon-neutral-california>

<sup>65</sup> <https://isometric.com/writing-articles/biomass-carbon-removal-and-storage-explained>

<sup>66</sup> <https://link.springer.com/article/10.1007/s40518-025-00252-1>

se encuentra en sus inicios y está por verse cómo se desarrolla y se expande.<sup>67</sup> Para garantizar que los proyectos BiCRS almacenen más carbono del que emiten, es necesario establecer regulaciones estrictas. Esto incluye limitar la materia prima a biomasa residual para evitar la tala de bosques y la conversión de tierras agrícolas para abastecer de insumos a proyectos BiCRS. El uso de biomasa cultivada específicamente para este fin conlleva muchos impactos negativos, como la disminución del carbono orgánico del suelo, el aumento de cambios perjudiciales en el uso de la tierra y el incremento en el uso de fertilizantes y pesticidas para el cultivo de la materia prima.

**Dado que las tecnologías DAC y BiCRS suelen consumir mucha energía, es importante garantizar que funcionen con energía limpia y que estos recursos no se desvíen de las comunidades de California.** La integración de energía limpia en una instalación DAC o BiCRS puede ayudar a abordar esta preocupación, al asegurar que estos proyectos no sobrecarguen la red eléctrica y generen emisiones netas negativas.

**La meteorización mejorada de rocas (ERW),** se refiere al proceso de esparcir minerales triturados sobre el terreno para acelerar el ciclo natural del carbono y absorber dióxido de carbono. Dependiendo del mineral utilizado, la ERW puede introducir en el suelo metales traza, como níquel y cromo, que pueden ser perjudiciales para el suelo. Estos metales traza también pueden alterar la alcalinidad de las aguas subterráneas y fluviales. Además, la extracción de rocas para la ERW conlleva el riesgo de perturbación del terreno, emisiones de dióxido de carbono derivadas de las operaciones mineras y una gran necesidad de superficie terrestre.

**La eliminación de dióxido de carbono en el océano (mCDR, por sus siglas en inglés)** es un tema que actualmente se investiga intensamente debido a su enorme capacidad para capturar y almacenar carbono, pero también al riesgo de afectar el ecosistema marino en general. Además, a medida que el océano se calienta, la estratificación oceánica y el transporte de carbono se verán alterados, lo que afectará la eficacia de los métodos de mCDR que dependen de estos procesos naturales para capturar y almacenar carbono en las profundidades oceánicas.<sup>68</sup> La mCDR abarca muchos enfoques incipientes que tienen el potencial de cambiar la bioquímica

---

<sup>67</sup> <https://carbon180.medium.com/carbon-removal-at-county-scale-adbfeab95836>

<sup>68</sup> <https://carbon180.org/blog/carbon-removal-and-the-path-back-to-1-5/>

oceánica, afectar negativamente los sistemas alimentarios marinos y agotar el oxígeno subsuperficial.<sup>69</sup> Algunos métodos de eliminación de carbono modificados (mCDR), como la fertilización con hierro en los océanos, están actualmente prohibidos a nivel comercial en virtud del Protocolo de Londres.<sup>70</sup> Otros sistemas, como el afloramiento y hundimiento artificial (AU/AD), no se recomiendan para su implementación en California debido a los procesos naturales de afloramiento frente a la costa.<sup>71</sup> Es imperativo garantizar que, en el impulso por una mayor eliminación de carbono (CDR), no haya efectos negativos significativos en el ecosistema circundante.

### **Nota sobre el almacenamiento geológico**

Ya sea que el dióxido de carbono capturado mediante captura directa de carbono (DAC), captura directa de carbono (DOC) o almacenamiento geológico profundo (BiCRS) se utilice o almacene bajo tierra, un proyecto debe considerar la durabilidad, la seguridad, los costos de transporte y la transparencia en los análisis del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés). Si el dióxido de carbono se filtra del almacenamiento geológico, esto podría revertir los beneficios climáticos de la eliminación de carbono (CDR) y dañar los ecosistemas y las comunidades locales. Por ejemplo, el dióxido de carbono que se filtra a los acuíferos subterráneos puede acidificar el agua al generar ácido carbónico, el cual libera metales pesados como arsénico y plomo, contaminando el suministro de agua.<sup>72</sup> Como se mencionó anteriormente, el dióxido de carbono es un gas asfixiante y podría perjudicar gravemente a las comunidades en caso de rotura de un oleoducto. La sismicidad inducida es otra preocupación que puede mitigarse mediante una cuidadosa selección, evaluación y monitoreo del sitio, así como la implementación de medidas correctivas.<sup>73 74</sup> El almacenamiento de dióxido de carbono en productos de larga duración, como el hormigón, es otro uso final eficaz del carbono capturado que probablemente no genere tanta preocupación entre los miembros de la comunidad. El hormigón puede utilizar dióxido de carbono proveniente de una planta de captura directa de carbono (DAC) o biocarbón para descarbonizar su producción y

<sup>69</sup> <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/carbon-dioxide-removal>

<sup>70</sup> <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en>

<sup>71</sup> <https://opc.ca.gov/wp-content/uploads/2025/02/Item-7-mCDR-Informational-Item-508.pdf>

<sup>72</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1750583609000255>

<sup>73</sup> <https://sccs.stanford.edu/sites/g/files>

<sup>74</sup> <https://climate.mit.edu/ask-mit/there-danger-pumping-liquid-carbon-dioxide-underground>

almacenar el dióxido de carbono durante períodos de tiempo significativos. Si el 10 % de la producción mundial de hormigón se utilizara para almacenar dióxido de carbono, se podría almacenar 1 gigatonelada de dióxido de carbono.<sup>75</sup>

Estos riesgos potenciales de los enfoques incipientes de eliminación de carbono (CDR) demuestran la necesidad de seguir investigando y desarrollando estas estrategias, así como la necesidad de contar con regulaciones integrales, salvaguardias y planes de participación comunitaria.

## Financiamiento de proyectos de eliminación de carbono

A pesar del llamado a ampliar la eliminación de carbono (CDR), la financiación de estos proyectos supone un importante obstáculo para su desarrollo. Muchas estrategias de CDR son nuevas y presentan resultados inciertos en cuanto a viabilidad, escalabilidad y duración del almacenamiento, por lo que invertir en estas vías puede resultar arriesgado y poco atractivo. Sin embargo, la amenaza de la crisis climática subraya la urgente necesidad de ampliar los mecanismos de financiación para CDR. Los contratos por diferencias, o contratos a precio fijo, como los Contratos por Diferencia de Carbono en el Reino Unido<sup>76</sup> son un ejemplo de acuerdos de financiación innovadores que pueden atraer fondos y promover la CDR a los niveles necesarios para alcanzar nuestros objetivos de cero emisiones netas y emisiones negativas netas. Otras estrategias de financiación se describen a continuación.

### Mercados voluntarios

Los mercados voluntarios de carbono (VCM, por sus siglas en inglés) se refieren a las emisiones de carbono evitadas o eliminadas que se comercializan a través de un mercado gestionado por el sector privado para ayudar a las empresas a cumplir sus objetivos climáticos. Más de 8 000 empresas se han comprometido públicamente a alcanzar las cero emisiones netas debido a la presión de los consumidores, las partes interesadas y el mercado laboral.<sup>77</sup> Dado que generalmente existen emisiones difíciles

<sup>75</sup> <https://www.ucdavis.edu/news/storing-carbon-buildings-could-help-address-climate-change>

<sup>76</sup> <https://www.carbonfuture.earth/magazine/government-as-catalyst-strategic>

<sup>77</sup> <https://www.forbes.com/sites/phideluna/2024/04/09>

de evitar en la cadena de suministro o las operaciones de una empresa, estas tienen un incentivo para comprar créditos de carbono, que pagan a otra entidad por extraer dióxido de carbono de la atmósfera.<sup>78</sup> Por ejemplo, Frontier<sup>79</sup> es una coalición de empresas (Meta, Shopify y otras) que se comprometieron anticipadamente a comprar créditos de carbono por valor de mil millones de dólares para compensar las emisiones residuales en su camino hacia las cero emisiones netas. Este mercado voluntario de carbono ha respaldado la primera fase de la ampliación de la eliminación de carbono (CDR), pero no es suficiente para alcanzar la escala necesaria para una eliminación de carbono significativa. Además, los créditos de carbono vendidos a los VCM a menudo no representan completamente las toneladas de carbono eliminadas que se han declarado, debido a problemas de integridad como la adicionalidad, las fugas, el recuento excesivo.<sup>80</sup> Estos proyectos no siempre cuentan con estándares de alta calidad establecidos para la protección de las comunidades y los ecosistemas.<sup>81</sup> Esta deficiencia del VCM pone de relieve la necesidad de establecer regulaciones en torno a la financiación de proyectos de CDR para garantizar que se capture carbono de manera efectiva.

En Europa, la Certificación de Eliminación y Agricultura de Carbono (CRCF, por sus siglas en inglés) tiene como objetivo desarrollar protocolos de MRV para la eliminación de carbono (CDR) que permitan generar certificados de eliminación de carbono. Estos certificados verificarán si un proyecto elegible de eliminación de carbono o agricultura de carbono efectivamente elimina el dióxido de carbono.<sup>82</sup> Este marco regulatorio de certificación<sup>83</sup> fue aprobado el 20 de febrero de 2024. Se trata de la primera estrategia de certificación de eliminación de carbono del mundo. La certificación es voluntaria y sólo las unidades de captura de carbono certificadas pueden utilizarse para cumplir con los objetivos climáticos de la Unión Europea.

## Filantropía

La filantropía tiene una oportunidad única para financiar proyectos de CDR. Al igual que los capitalistas de riesgo y las empresas emergentes, estas organizaciones pueden asumir mayores riesgos con sus inversiones. Dado que las organizaciones filantrópicas no están diseñadas para obtener un retorno de su inversión, pueden

<sup>78</sup> Ibid.

<sup>79</sup> <https://frontierclimate.com/>

<sup>80</sup> [https://policyintegrity.org/files/publications/Regulating\\_the\\_Voluntary\\_Carbon\\_Market\\_Report\\_vF.pdf](https://policyintegrity.org/files/publications/Regulating_the_Voluntary_Carbon_Market_Report_vF.pdf)

<sup>81</sup> Ibid.

<sup>82</sup> [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/carbon-removals-and-carbon-farming_en)

<sup>83</sup> <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/eu-reaches-deal-on-worlds-first>

invertir en una gama más amplia de iniciativas de CDR, incluyendo investigación y desarrollo. Además, pueden utilizar su influencia para legitimar y liderar este ámbito.<sup>84</sup> La filantropía ha desempeñado un papel fundamental en el pasado en la expansión de otros mercados emergentes, como el mercado global de la salud a principios de la década de 2000 a través de la Fundación Gates.<sup>85</sup>

## Mercados de cumplimiento

Los mercados de cumplimiento son mercados regulados por una entidad gubernamental, como el programa Cap-and-Invest de California. Este programa establece límites anuales a las emisiones, los cuales disminuyen progresivamente hasta alcanzar un objetivo final. Las empresas que emiten gases de efecto invernadero (GHG) deben adquirir derechos de emisión equivalentes a una tonelada de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e).<sup>86</sup> Estos derechos se reinvierten en comunidades de toda California a través del Fondo de Greenhouse Gas Reduction [Reducción de Gases de Efecto Invernadero]. Existen numerosas soluciones basadas en la naturaleza financiadas por Cap-and-Invest, como las subvenciones de Wetland & Watershed Restoration [Restauración de Humedales y Cuencas Hidrográficas] y Wildfire Prevention [Prevención de Incendios Forestales]. Parte de los fondos del GGRF se destinan a enfoques de eliminación de carbono (CDR) más recientes, como la captura directa de carbono (DAC), a través del Programa de Apoyo a la Innovación en la Eliminación de Carbono (CRISP, por sus siglas en inglés). Cabe destacar que muchos defensores de la justicia ambiental y grupos comunitarios se oponen al uso de los fondos de Cap-and-Invest para invertir en la CDR industrial debido a los riesgos que estas tecnologías representan para las comunidades en primera línea.

El marco de **Responsabilidad Extendida del Productor (EPR, por sus siglas en inglés)** es otro mecanismo de cumplimiento normativo posible. El documento ‘Responsabilidad Extendida del Productor para Combustibles Fósiles’<sup>87</sup> establece un marco en el que los productores de combustibles fósiles asumen la responsabilidad de la contaminación derivada de su producción, comprometiéndose a gestionar los residuos resultantes. Los orígenes de una propuesta de recompra obligatoria de carbono se encuentran en una ley francesa de 1975<sup>88</sup> que generalizó la idea de la EPR,

<sup>84</sup> <https://greatunwind.substack.com/p/whos-got-next>

<sup>85</sup> <https://gcgh.grandchallenges.org/history>

<sup>86</sup> <https://theclimatecenter.org/wp-content/uploads/2023/12/Reforming-Californias-Cap-and-Trade>

<sup>87</sup> <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aca4e8/pdf>

<sup>88</sup> <https://journals.openedition.org/factsreports/6557>

según la cual ‘los productores, importadores y distribuidores pueden estar obligados a contribuir a la eliminación de los residuos de sus productos.’ Se aplicó por primera vez en 1992 a los residuos domésticos. California ha establecido varios programas de EPR, entre ellos programas para botellas de plástico, aparatos electrónicos y colchones.

Aplicar el principio de Responsabilidad Extendida del Productor (EPR) a los productores de combustibles fósiles puede contribuir a la creación de una obligación de recompra de carbono. En lugar de que las emisiones de combustibles fósiles se liberan libremente a la atmósfera, los extractores e importadores de combustibles fósiles serían responsables de la eliminación permanente de los residuos de dióxido de carbono mediante la captura y almacenamiento geológico, utilización o soluciones basadas en la naturaleza. Un programa de recompra de carbono no requiere precios elevados del carbono, lo que favorece la creación de un mercado financieramente atractivo para la eliminación de carbono (CDR).

La creación de un mercado de eliminación de carbono (CDR) podría diluir los incentivos para reducir directamente las emisiones de dióxido de carbono. Por lo tanto, es fundamental concebir la CDR como un conjunto de opciones para abordar únicamente las emisiones residuales, es decir, aquellas que se siguen liberando incluso después de alcanzar el objetivo de cero emisiones netas,<sup>89</sup> y las emisiones históricas.

## Créditos fiscales

Las herramientas de financiación, como los créditos fiscales, pueden ayudar a mitigar el riesgo de las inversiones y a reducir los elevados costos de capital y operativos de los nuevos proyectos de eliminación de dióxido de carbono (CDR).<sup>90</sup> El **crédito fiscal 45Q** se estableció por primera vez en 2008, se amplió en 2018 y 2022, y fue modificado recientemente en 2025 mediante la Ley H.R. 1 (Arrington, 2025), conocida como la ley One Big Beautiful Bill Act.<sup>91</sup> Este crédito fiscal incentiva el secuestro de dióxido de carbono, monóxido de carbono y subóxido de carbono<sup>92</sup> mediante la captura y almacenamiento geológico, recuperación mejorada de petróleo (EOR) o

<sup>89</sup> <https://www.wri.org/insights/residual-emissions-carbon-removal>

<sup>90</sup> <https://www.weforum.org/stories/2025/01/cost-of-different-carbon-removal-technologies>

<sup>91</sup> <https://www.congress.gov/bill/119th-congress/house-bill/1/text>

<sup>92</sup> El subóxido de carbono, también conocido como dióxido de tricarbono, es un compuesto químico con la fórmula  $C_3O_2$

utilización. La captura directa de carbono (DAC) se incluyó en este crédito fiscal en 2018 y las inversiones en proyectos pueden recibir un crédito fiscal de 180 USD por tonelada de dióxido de carbono si éste se almacena geológicamente, se utiliza o se emplea para EOR.<sup>93</sup> Este es el incentivo federal más importante para un enfoque industrial de CDR.<sup>94</sup> Si bien el crédito fiscal 45Q apoya la ampliación de los esfuerzos de CDR, cabe señalar que la recuperación mejorada de petróleo (EOR) *nunca* debe ser el uso final de los proyectos de CDR, ya que esto incentiva el uso continuado de combustibles fósiles. California ya ha prohibido la práctica de utilizar carbono capturado para la EOR dentro del estado mediante las leyes SB 1314 (Limón, 2022)<sup>95</sup> y SB 905 (Caballero, 2022).<sup>96</sup>

## Adquisiciones gubernamentales

Las adquisiciones gubernamentales se refieren a la compra directa de créditos de carbono o la inversión directa en proyectos de eliminación de dióxido de carbono (CDR) por parte de los gobiernos estatales y federales. La CDR puede considerarse un tipo de servicio de gestión de residuos. De la misma manera que se recolecta y elimina la basura para mantener la salud de las comunidades, la captura de dióxido de carbono de la atmósfera reduce los niveles de gases de efecto invernadero y mitiga el cambio climático. En este sentido, la CDR es un bien público que el gobierno puede apoyar. Cualquier proyecto de CDR que reciba subsidios con fondos públicos, ya sea mediante créditos fiscales o adquisiciones directas, debe cumplir con rigurosos estándares de participación comunitaria, laborales y ambientales.

El Programa Piloto de Compra de Eliminación de Dióxido de Carbono (CDR), financiado por el Departamento de Energía durante la administración Biden, proporcionó hasta \$35 millones para proyectos de CDR en todo el país.<sup>97</sup> El apoyo gubernamental a la CDR mediante políticas, iniciativas e inversiones contribuirá a impulsar la innovación, desarrollar investigación exhaustiva y generar la confianza y credibilidad necesarias para atraer más inversión privada.<sup>98</sup> En California, el Programa de Apoyo a la Innovación en la Captura y Almacenamiento de Carbono (CRISP) brinda apoyo financiero a proyectos de captura directa de aire en todo el estado que se encuentran en las fases de prueba y piloto y que cuentan con planes de participación

<sup>93</sup> [https://media.rff.org/documents/Report\\_24-03.pdf](https://media.rff.org/documents/Report_24-03.pdf)

<sup>94</sup> <https://carbonherald.com/what-is-45q-tax-credit/>

<sup>95</sup> [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202120220SB1314](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220SB1314)

<sup>96</sup> [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202120220SB905](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220SB905)

<sup>97</sup> <https://www.energy.gov/articles/doe-announces-12-million-accelerate-americas>

<sup>98</sup> <https://www.weforum.org/stories/2024/07/why-carbon-dioxide-removal-needs>

comunitaria.<sup>99</sup> El proyecto de ley SB 643 (Caballero, 2025) proponía un Programa de Eliminación de Dióxido de Carbono, que habría permitido al gobierno estatal de California invertir directamente 50 millones de dólares en proyectos de CDR en todo el estado para 2035 mediante un proceso de subvenciones competitivo, pero fue vetado por el gobernador.

## Protección y salvaguardas para las comunidades

La eliminación de dióxido de carbono (CDR) es una industria nueva y en rápida expansión, que al consolidarse como una solución climática creíble, debe evitar los errores de otras industrias. Los efectos negativos de la CDR en las comunidades no se justifican en el contexto de la lucha contra el cambio climático.

Se considera que las tecnologías de CDR, particularmente DAC y BiCRS, representan amenazas potenciales para las comunidades más vulnerables debido a la calidad del aire y la seguridad relacionadas con la combustión de biomasa, el uso de oleoductos para el transporte de dióxido de carbono y el almacenamiento geológico de dióxido de carbono. Además, se ha planteado la cuestión de si la financiación de estas tecnologías sería más beneficiosa si se destinara a proyectos de reducción de emisiones.

Dado que las empresas de petróleo y gas fueron de las primeras en invertir en muchas tecnologías de eliminación de dióxido de carbono (CDR), algunos grupos ambientalistas y de justicia ambiental consideran que la CDR justifica que las petroleras continúen operando como siempre. Aún hoy, estas empresas proponen la construcción de centros de captura y almacenamiento de dióxido de carbono (CCS) y algunas de captura directa de aire (DAC) en California. Estas entidades han demostrado ser socios poco confiables en materia de clima, medio ambiente y salud pública, por lo que cualquier proyecto propuesto debe estar estrictamente regulado.

El problema del riesgo moral, en relación con la CDR, se refiere a la idea de que la expansión de CDR disminuirá los esfuerzos de reducción de emisiones, cruciales para mitigar tanto el cambio climático como los problemas de calidad del aire. Además, las organizaciones de justicia ambiental temen que la CDR no se utilice para reducir las emisiones históricas, sino únicamente para compensar las emisiones actuales. Vicki

---

<sup>99</sup> <https://www.caclimateinvestments.ca.gov/carbon-removal-innovation>

Hollub, líder de Occidental Petroleum, ha declarado que la tecnología de captura directa de carbono (DCC) preservará la industria petrolera hasta por otros 80 años.<sup>100</sup> Darren Wood, director ejecutivo de Exxon Mobil, ha afirmado que ampliar la DCC, en lugar de reducir las emisiones, será la forma más sencilla de alcanzar la neutralidad de carbono.<sup>101</sup> Las compañías de petróleo y gas también han utilizado el carbono capturado mediante procesos CDR para extraer reservas de petróleo de difícil acceso a través de un proceso denominado recuperación mejorada de petróleo (EOR), una práctica prohibida en California. Sin embargo, el estado continúa incentivando el uso de carbono capturado para EOR fuera de California mediante el Estándar de Combustible Bajo en Carbono.<sup>102</sup> El uso de carbono capturado para EOR libera cuatro veces más carbono del que se capturó inicialmente, lo que socava los objetivos de CDR, el clima y la calidad del aire.<sup>103</sup> **El uso de CDR para justificar la producción continua de petróleo y la contaminación seguirá perjudicando gravemente a las comunidades más afectadas y al planeta.**

California se encuentra en una posición privilegiada. El Valle de San Joaquín cuenta con el espacio suficiente y la composición geológica adecuada para la captura y almacenamiento subterráneo de carbono.<sup>104</sup> Sin embargo, muchas de estas comunidades han sufrido durante décadas los estragos de industrias como la petrolera y la gasífera, entre otras. Stockton y el condado de Kern figuran entre las zonas más contaminadas del país.<sup>105</sup> El impacto de la industria petrolera y gasífera también socava la confianza en la afirmación de que existe suficiente capacidad de almacenamiento geológico en el Valle de San Joaquín, debido a pozos abandonados y sin sellar que no han sido contabilizados<sup>106</sup>. Estos pozos podrían permitir la reintroducción del dióxido de carbono capturado a la atmósfera. Ahora, estas mismas comunidades se consideran sitios críticos para las incipientes tecnologías de CDR, lo que podría tener consecuencias negativas imprevistas. Además, si bien California ha disminuido su producción de petróleo y gas, esta reducción ha sido más lenta cerca de las comunidades marginadas racial y socioeconómicamente.<sup>107</sup> Por ejemplo, la proporción de residentes negros que viven cerca de pozos activos era entre un 42 % y un 49 % mayor, y la proporción de residentes latinos cerca de pozos es entre un 4 % y

---

<sup>100</sup> <https://www.eenews.net/articles/oil-companies-want-to-remove-carbon-from-the-air-using>

<sup>101</sup> Ibid.

<sup>102</sup> [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill\\_id=202120220SB1314](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billTextClient.xhtml?bill_id=202120220SB1314)

<sup>103</sup> <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es902006h>

<sup>104</sup> [https://gs.llnl.gov/sites/gs/files/2021-08/getting\\_to\\_neutral.pdf](https://gs.llnl.gov/sites/gs/files/2021-08/getting_to_neutral.pdf)

<sup>105</sup> <https://www.pbs.org/newshour/nation/california-has-some-of-the-worst-air-quality>

<sup>106</sup> <https://www.fractracker.org/2019/03/failing-abandoned-wells/>

<sup>107</sup> <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2022GH000690>

un 13 % más alta que sus respectivas poblaciones estatales.<sup>108</sup> La contaminación derivada de las operaciones de petróleo y gas incluye gases de escape de diésel, compuestos orgánicos volátiles, contaminantes tóxicos del aire, contaminación de aguas subterráneas y contaminación lumínica y acústica proveniente de la maquinaria.<sup>109</sup> Como resultado, las comunidades más afectadas corren un mayor riesgo de sufrir efectos adversos para la salud como hipertensión,<sup>110</sup> asma, partos prematuros y enfermedades pulmonares y cardíacas, así como un mayor riesgo de fallecer por COVID-19.<sup>111</sup>

**Si se utiliza la captura y almacenamiento de carbono (CDR) para retrasar la reducción de la producción y el uso de combustibles fósiles, estas comunidades, ya afectadas por la contaminación, sufrirán impactos reales y prolongados.** Los responsables políticos, las empresas y las organizaciones comunitarias deben priorizar la descarbonización para frenar el cambio climático y garantizar que la CDR sea complementaria, y no perjudicial, para dichos esfuerzos.

Las comunidades ya han sufrido las consecuencias catastróficas de las fallas en las operaciones de captura y almacenamiento de carbono. En Satartia, Misisipi, la rotura de un oleoducto de dióxido de carbono obligó a la evacuación de 200 personas y provocó la hospitalización de 45.<sup>112</sup> Los servicios de emergencia no pudieron acceder a nadie ya que el dióxido de carbono liberado causó fallos a sus motores de combustión. Los habitantes de la comunidad desconocían la existencia de los oleoductos de dióxido de carbono cercanos a sus hogares. Otras comunidades vulnerables en Texas y Luisiana no fueron incluidas en las conversaciones sobre acuerdos de beneficio comunitario cuando se presentaron los planes para los centros de captura directa del aire de dióxido de carbono (DAC).<sup>113</sup> Además, si un oleoducto de dióxido de carbono se rompe, el gas puede contaminar las aguas subterráneas. Dado que el Valle de San Joaquín es a la vez un estuario y utiliza las aguas del delta del río Sacramento-San Joaquín para la agricultura, esta contaminación por dióxido de carbono podría dañar un recurso vital para personas en todo el estado, el país y el mundo.

---

<sup>108</sup> Ibid.

<sup>109</sup> Ibid.

<sup>110</sup> <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10850428/>

<sup>111</sup> <https://news.stanford.edu/stories/2021/10/living-near-oil-gas-wells-increases-air-pollution-exposure>

<sup>112</sup> <https://www.npr.org/2023/05/21/1172679786/carbon-capture-carbon-dioxide-pipeline>

<sup>113</sup> <https://www.eenews.net/articles/false-promise-does-carbon-removal-plans>

La aprobación del proyecto de ley SB 614 (Stern, 2025)<sup>114</sup> levantó la moratoria sobre los gasoductos de CO<sub>2</sub> en California. Dado que estos gasoductos pueden ser fundamentales para el diseño de algunas instalaciones de captura directa de carbono (DAC) y de almacenamiento de carbono bioquímico (BiCRS), las comunidades locales deben comprender los riesgos asociados y mantener su derecho de oposición. Para garantizar la correcta difusión de la información sobre los proyectos, los promotores y los gobiernos deben colaborar con las organizaciones comunitarias locales para llegar al mayor número posible de miembros de la comunidad.

Los proyectos financiados por el Departamento de Energía de EE. UU. (DOE) bajo la Ley Bipartidista de Infraestructura (BIL) originalmente requerían la incorporación de Planes de Beneficios Comunitarios (CBPs)<sup>115</sup> en las solicitudes de financiamiento. Si bien los CBPs no son jurídicamente vinculantes, representan compromisos del promotor del proyecto para demostrar los beneficios locales que este brindará a la comunidad. Los acuerdos suelen incluir cláusulas sobre empleo, ingresos fiscales locales y medidas de protección ambiental para la comunidad.<sup>116</sup> El requisito de incluir CBPs en los proyectos fue eliminado durante la administración Trump.<sup>117</sup>

Otros modelos de participación comunitaria incluyen la Alianza Comunitaria para la Captura Directa de Aire (CALDAC),<sup>118</sup> liderada por el Centro de Derecho, Energía y Medio Ambiente (CLEE, por sus siglas en inglés) y el Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley. Este proyecto estaba implementando estructuras de gobernanza innovadoras que, en última instancia, otorgan a las comunidades poder de voto sobre un proyecto de captura y almacenamiento de carbono (CDR). Esta participación comunitaria colaborativa podría haber dado lugar a proyectos de propiedad y gestión comunitaria o pública, pero la Administración Trump retiró la financiación.

Estas importantes reformas son fundamentales para garantizar que las comunidades locales tengan capacidad de decisión para proteger sus medios de vida, su salud y su bienestar.<sup>119</sup> De tener éxito, generarán importantes beneficios compartidos y servirán de modelo para el desarrollo necesario de la infraestructura de eliminación de carbono (CDR) en las próximas décadas. La capacidad de decisión de la comunidad permite a

---

<sup>114</sup> [https://calmatters.digitaldemocracy.org/bills/ca\\_202520260sb614](https://calmatters.digitaldemocracy.org/bills/ca_202520260sb614)

<sup>115</sup> <https://www.wri.org/insights/community-benefits-agreements-us-clean-energy>

<sup>116</sup> <https://www.resources.org/archives/improving-community-benefits-plans-can-optimize-local-outcomes/>

<sup>117</sup> <https://earthjustice.org/wp-content/uploads/2025/01/doe-memo-suspending-cbp.pdf>

<sup>118</sup> <https://newscenter.lbl.gov/2023/08/24/california-group-exploring>

<sup>119</sup> <https://www.filesforprogress.org/memos/advancing-equitable-deployment-of-regional-dac-hubs.pdf>

los residentes asegurar que su comunidad reciba beneficios económicos y ambientales. Es crucial que las comunidades también tengan derecho de voto, lo que les permite rechazar la instalación de proyectos de CDR propuestos, como DAC o BiCRS, en sus territorios.

La industria CDR puede inspirarse en otros proyectos para implementar una participación comunitaria significativa. Proyectos de diseño urbano, como los documentados en la Red de Diseño Social, Económico y Ambiental (SEED)<sup>120</sup> o proyectos de energía renovable, como los implementados por EDPR Norteamérica,<sup>121</sup> demuestran cómo la participación comunitaria puede ser valiosa tanto para la comunidad como para el promotor del proyecto. Estos proyectos involucran a la comunidad en las primeras fases de desarrollo, buscan múltiples oportunidades en lugares relevantes para dialogar con los residentes e incorporan sus comentarios. Incluso van más allá, algunos de estos proyectos invierten en las comunidades donde se ubican, de forma similar a lo que se contempla en un acuerdo de beneficio comunitario. Si, incluso después de implementar las mejores prácticas, una comunidad rechaza un proyecto de CDR, este derecho de rechazo debe ser respetado.<sup>122</sup>

Además, la eliminación de dióxido de carbono (CDR) tiene el potencial de generar importantes oportunidades de empleo. Cinco de las vías de CDR mencionadas (ERW, BiCRS, DOC, OAE, y DAC) tienen el potencial de crear entre 95 000 y 130 000 empleos anuales en todo el país una vez que alcancen la escala de captura de carbono de 100 millones de toneladas métricas.<sup>123</sup> Cada vía individual proporcionará diferentes niveles de empleo. Por ejemplo, se proyecta que DAC genere entre 5000 y 7000 empleos de operación y mantenimiento, mientras que ERW puede proporcionar entre 22 000 y 29 500 empleos de operación y mantenimiento.<sup>124</sup> El conocimiento de los trabajadores empleados por las compañías de petróleo y gas será fundamental para el funcionamiento de algunas instalaciones de CDR y la mano de obra calificada de los sindicatos será necesaria para el desarrollo exitoso de las operaciones CDR.<sup>125</sup> La expansión de esta industria crea una oportunidad para apoyar a los sindicatos, a los trabajadores desplazados del sector de petróleo y gas, y para ofrecer nuevas

---

<sup>120</sup> <https://seednetwork.org/about/mission/>

<sup>121</sup> <https://www.edp.com/en/north-america/na/projects>

<sup>122</sup> <https://www.latitudemedia.com/news/direct-air-capture-has-arrived-at-the-community-buy-in-hurdle/>

<sup>123</sup> <https://rhg.com/research/the-benefits-of-innovation-an-assessment>

<sup>124</sup> Ibid.

<sup>125</sup> <https://carbonactionalliance.org/wp-content/uploads/CM-and-Labor-Backgrounder.pdf>

trayectorias profesionales lejos de los combustibles fósiles en la transición hacia energías renovables.

California se encuentra en la vanguardia de estas nuevas tecnologías. Si bien la CDR es necesaria para alcanzar los objetivos climáticos, no puede implementarse de manera que perjudique aún más a las comunidades y al medio ambiente. En cada fase del proceso de planificación del proyecto, las comunidades deben tener voz y voto, incluyendo el derecho de rechazo. El Comité Asesor de Justicia Ambiental (EJAC) de la Junta de Recursos del Aire de California, en 2023, publicó una carta dirigida al Departamento de Energía de los Estados Unidos en la que se detallan medidas concretas para la implementación equitativa de centros de captura directa de carbono (DCC).<sup>126</sup> Algunas de estas ideas se reflejan en la lista a continuación, junto con otras estrategias recomendadas para proteger a las comunidades.

### **1. Estrictas protecciones y limitaciones**

- a. Asegurar que la tecnología de eliminación de dióxido de carbono (CDR) se utilice para abordar las emisiones históricas y difíciles de mitigar, y que no se venda como compensación o crédito a empresas petroleras, gasísticas y de otros sectores para permitir la contaminación continua.
- b. Establecer distancias de seguridad significativas entre una comunidad y una operación de CDR.
  - i. Apoyar la investigación y el establecimiento de una distancia segura de los oleoductos de dióxido de carbono.<sup>127</sup>
- c. Agregar odorizantes al dióxido de carbono capturado y almacenado para alertar a la población sobre posibles fugas.
- d. No utilizar combustibles fósiles para alimentar las operaciones de CDR.
- e. No permitir el uso de CDR para la recuperación mejorada del petróleo.
- f. Los sistemas de oleoductos deben ser nuevos y estar estrictamente regulados a nivel estatal y federal. Esto incluye regulaciones específicas para el dióxido de carbono en estado líquido, gaseoso y supercrítico.<sup>128</sup> Se deben crear planes para proteger los oleoductos de dióxido de carbono de la intrusión del agua y minimizar el riesgo de explosión.

---

<sup>126</sup> [https://www.filesforprogress.org/pdfs/DAC\\_hubs\\_DOE\\_letter.pdf](https://www.filesforprogress.org/pdfs/DAC_hubs_DOE_letter.pdf)

<sup>127</sup> <https://pstrust.org/wp-content/uploads/2022/10/CO2-Regulatory-and-Knowledge-Gaps-1.pdf>

<sup>128</sup> <https://pstrust.org/carbon-dioxide-pipelines-dangerous-and-under-regulated/>

- g. Invertir en prácticas efectivas de respuesta a emergencias para prepararse ante posibles fugas, incluyendo comunicación rápida y vehículos eléctricos de primera intervención.
- h. Garantizar el análisis de los impactos del proyecto en el medio ambiente y la salud pública, incluyendo la exposición a materiales tóxicos, residuos peligrosos y el consumo de energía y agua.

## **2. Propiedad y gobernanza comunitaria**

- a. La financiación pública para el desarrollo de proyectos DAC y otros proyectos CDR no debe destinarse a empresas de petróleo y gas.
- b. Codificar el derecho de rechazo/modificación de la comunidad.
- c. Conducir una extensión comunitaria significativa antes de seleccionar un sitio para un proyecto CDR, durante todo el proceso de desarrollo y después de que comiencen las operaciones.
- d. Colaborar con la comunidad para crear un acuerdo de beneficios comunitarios sólido y jurídicamente vinculante, con un alcance de la labor que beneficie directamente a las comunidades afectadas.
- e. Trabajar con sindicatos y grupos laborales para crear acuerdos laborales de proyecto para la construcción y operación de un proyecto CDR

## **El papel de la captura de dióxido de carbono en la política climática de California**

California es uno de los primeros estados en introducir políticas relacionadas con la captura de carbono.<sup>129</sup> La ley AB 1279 (Muratsuchi, 2022) codificó los objetivos de neutralidad de carbono y de emisiones netas negativas de California. Esta ley también estableció el objetivo de reducir las emisiones estatales para 2045 en al menos un 85 % por debajo de los niveles de 1990. Esto significa que la captura y almacenamiento de carbono (CDR) puede compensar hasta el 15 % de las emisiones restantes, garantizando que no sustituya los esfuerzos críticos de reducción de emisiones. El Plan de Alcance de la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) de 2022 esboza objetivos específicos de eliminación de dióxido de carbono de 7 millones de toneladas métricas (MMT) para 2030 y 75 MMT para 2045.<sup>130</sup> Estos objetivos están diseñados para ayudar al estado a alcanzar sus metas de neutralidad de carbono para 2045. Se

---

<sup>129</sup> <https://www.wri.org/insights/california-carbon-dioxide-removal-policies#>

<sup>130</sup> <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/ab-32-climate-change-scoping-plan>

prevé que la mayoría de los objetivos de eliminación de carbono se alcancen mediante DAC, BiCRS y CCS.<sup>131</sup><sup>132</sup> Se espera que las tierras naturales y productivas aporten una absorción neta de 1,5 millones de toneladas métricas para 2045,<sup>133</sup> aunque otras estimaciones son mucho mayores.<sup>134</sup> <sup>135</sup> La ley AB 1757, promulgadas en 2022,<sup>136</sup> codificó los objetivos de soluciones basadas en la naturaleza<sup>137</sup> que contribuirán a la cartera más amplia de CDR.

Para abordar el problema del riesgo moral de la eliminación de dióxido de carbono (CDR) mencionado anteriormente, las políticas estatales deben analizar cuidadosamente cómo se utiliza la CDR para compensar las emisiones difíciles de evitar y reducir el exceso de dióxido de carbono. El IPCC ha declarado que la humanidad debe reducir las emisiones de carbono a cero neto para 2050 y lograr emisiones netas negativas a partir de entonces para compensar los efectos del calentamiento global causados por las emisiones históricas<sup>138</sup> Por lo tanto, la política de CDR desempeñará un papel fundamental en ambos objetivos. Mientras la CDR puede apoyar la descarbonización de las emisiones difíciles de evitar de la industria, es imperativo que se reserve para compensar únicamente las industrias verdaderamente difíciles de descarbonizar, como la del cemento, el acero y la producción química. Incluso en estos casos, la CDR debe considerarse un apoyo temporal mientras se investigan formas de descarbonizar realmente estas industrias.

En el camino hacia las cero emisiones netas, la CDR debe implementarse principalmente para capturar el exceso de dióxido de carbono de la atmósfera y, cuando se logre el cero neto, continuar reduciendo las emisiones históricas para lograr las metas de emisiones netas negativas.

En los últimos años se han presentado proyectos de ley para facilitar y desarrollar nuevas tecnologías de CDR y ampliar las soluciones basadas en la naturaleza. El

---

<sup>131</sup> ibid.

<sup>132</sup> El TCC considera que la CCS solo debe contabilizarse para los objetivos estatales de reducción de emisiones y no para sus objetivos de eliminación de carbono. Además, la CCS solo debe utilizarse para aplicaciones industriales específicas donde las emisiones de carbono sean difíciles de evitar. <https://theclimatecenter.org/fossil-fuels/carbon-capture-and-storage-policy-brief/>

<sup>133</sup> Ibid.

<sup>134</sup> [https://gs.llnl.gov/sites/gs/files/2021-08/getting\\_to\\_neutral.pdf](https://gs.llnl.gov/sites/gs/files/2021-08/getting_to_neutral.pdf)

<sup>135</sup> <https://theclimatecenter.org/carbon-sequestration/setting-an-ambitious-sequestration>

<sup>136</sup> [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202120220AB1757](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220AB1757)

<sup>137</sup> <https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/>

<sup>138</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332224004226>

siguiente cuadro resume algunas de las principales leyes de California sobre CDR desde el año 2020.

## La legislación CDR en California

AB 1279 <b>Ley de crisis climática</b> <i>Muratsuchi, 2022</i>	Codifica un objetivo de cero emisiones netas y de emisiones netas negativas para el Estado, incluyendo una meta para 2045 de reducción de emisiones del 85% con respecto a los niveles de 1990.
SB 905 <b>Captura y almacenamiento de carbono: captura, eliminación, utilización y almacenamiento de carbono</b> <i>Caballero, 2022</i>	Establece un marco regulatorio para las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono. Los requisitos regulatorios incluyen un plan de MRV, estrategias para minimizar los otros contaminantes, el establecimiento de normas de responsabilidad financiera para proyectos y sitios geológicos de inyección de dióxido de carbono por un mínimo de 100 años y la prohibición del uso de proyectos para la recuperación mejorada de petróleo.
SB 27 <b>Registro de proyectos de captura y almacenamiento de carbono y resiliencia climática</b> <i>Skinner, 2021</i>	Establece la Estrategia Climáticamente Inteligente para Tierras Naturales y Productivas, ordena a la Junta de Recursos del Aire de California que incluya objetivos de CDR en el plan de alcance y establece un directorio de proyectos para la captura y almacenamiento de carbono de tierras naturales y productivas y la captura directa del aire (DAC).
AB 1757 <b>Objetivo climático: tierras naturales y productivas</b> <i>Garcia, 2022</i>	Requiere que la Agencia de Recursos Naturales de California (CNRA) establezca objetivos para la captura y almacenamiento natural de carbono y emita soluciones climáticas basadas en la naturaleza. Estos objetivos <sup>139</sup> se publicaron en abril de 2024.
SB 643 <b>Programa de compra de remoción de dióxido de carbono</b> <i>Caballero, 2025</i>	Requiere que CARB establezca y administre el Programa de compra de remoción de dióxido de carbono para DAC, BiCRS, ERW y mCDR. El programa asignaría \$50 millones mediante un proceso competitivo de subvenciones para proyectos elegibles de remoción de dióxido de carbono para 2035. Se creará un inventario en línea de todos los proyectos de la CDR.

<sup>139</sup> <https://resources.ca.gov/-/media/CNRA-Website/Files/Initiatives>

SB 614  
**Transportation of  
Carbon Dioxide**  
*Stern, 2025*

Levanta la moratoria sobre la utilización de oleoductos de dióxido de carbono en el estado de California.

---

Además de estas iniciativas estatales, la Ley Federal Bipartidista de Infraestructura (BIL, 2021)<sup>140</sup> y la Ley de Reducción de la Inflación (IRA, 2022)<sup>141</sup> destinaron más de \$14.400 millones para ampliar la captura la CDR industrial y la basada en la naturaleza. Dentro de este paquete de financiación para CAC, se incluyen 3.500 millones de dólares para la construcción de cuatro centros de almacenamiento directo de carbono (DAC) en todo el país. Se prevé que cada centro DAC proporcione al menos un millón de toneladas métricas (MMT) de CDR al año. Una de las empresas que recibió financiación a través de este programa es Heirloom, que colabora con Climeworks para establecer un centro DAC en Luisiana. La empresa también opera una instalación DAC en Tracy, California.<sup>142</sup>

También ha habido llamamientos por parte de académicos y científicos de todo el mundo para establecer objetivos separados para la reducción de emisiones de carbono, el secuestro de carbono en tierras y los esfuerzos permanentes de CDR.<sup>143</sup> Establecer objetivos separados para estos esfuerzos, con la supervisión adecuada, puede ayudar a maximizar los beneficios de todas las estrategias, apoyar una gobernanza eficaz, diversificar los riesgos y proporcionar objetivos claros para exigir responsabilidades a gobiernos y empresas por los proyectos.<sup>144</sup> Incentivar un conjunto de estrategias que cumplan con altos estándares y regulaciones, en lugar de elegir de antemano a los ganadores y perdedores, también permitirá que esta industria emergente crezca de manera eficaz.

Si bien California incluye objetivos de CDR en su Plan Estratégico, no existe una hoja de ruta establecida para alcanzarlos. Dado que el nivel CDR necesario depende de la rapidez con que la sociedad reduzca las emisiones, es fundamental crear políticas

---

<sup>140</sup> <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/3684>

<sup>141</sup> <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376/text>

<sup>142</sup> <https://www.heirloomcarbon.com/news/heirloom-unveils-americas>

<sup>143</sup> <https://carbonmarketwatch.org/publications/open-letter>

<sup>144</sup> <https://www.wri.org/technical-perspectives/separate-climate-targets-carbon-dioxide-removal>

específicas que incorporen diversas vías de CDR en el contexto de distintos escenarios de sobre emisión para ampliar eficazmente estos esfuerzos. Aprovechando el impulso de la legislación ya presentada y el Plan Estratégico de la Junta de Recursos del Aire de California (CARB) de 2022, California puede ahora actuar para establecer una hoja de ruta para la CDR en el estado.

Esta hoja de ruta puede incluir objetivos que:

- Definan soluciones viables de CDR para California;
- Aclaren aún más los objetivos específicos para la reducción de emisiones y la captura de carbono;
- Establezcan regulaciones estrictas para los proyectos de CDR, los oleoductos de dióxido de carbono y almacenamiento geológico;
- Definan los requisitos para la participación comunitaria;
- Crean mecanismos de financiación innovadores para apoyar la investigación y la implementación de estrategias de CDR.

## **Recomendaciones de políticas públicas de The Climate Center**

### **Recomendación de política pública n.º 1:**

Asegurar que los proyectos de eliminación de dióxido de carbono (CDR) se contabilicen exclusivamente para los objetivos estatales de eliminación de dióxido de carbono de 7 millones de toneladas métricas (MMT) para 2030 y de 75 MMT para 2045, según lo estipulado en el Plan de Alcance. Los proyectos de eliminación de dióxido de carbono (CDR) no deben contabilizarse para el objetivo de reducción de emisiones del 85 % para 2045, según lo establecido en la Ley AB 1279 (Muratsuchi, 2022).<sup>145</sup>

### **Recomendación de política pública n.º 2:**

Todos los proyectos industriales de CDR, ya sean estatales o privados, deben estar sujetos a un conjunto de principios integrales para los Acuerdos de Beneficios Comunitarios. El Estado debe incorporar lo siguiente en dichos acuerdos:

---

<sup>145</sup> [https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202120220AB1279](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202120220AB1279)

- a. Codificar los derechos de rechazo y de restitución para las comunidades afectadas por los proyectos.
- b. Codificar el requisito de que el impacto del proyecto no afecte negativamente a las comunidades más afectadas.
- c. Codificar el requisito de garantizar que la comunidad reciba notificaciones oportunas y tenga la oportunidad de opinar sobre los próximos proyectos, mediante anuncios en los idiomas más comunes de la comunidad
- a. Describir las mejores prácticas para la participación y la apropiación comunitarias, tal como se indica en la página 21.

#### **Recomendación de política pública n.º 3 :**

Establecer regulaciones estrictas sobre el transporte y almacenamiento de dióxido de carbono en todos los estados donde opera. Estas regulaciones también deben incluir:

- a. Establecer una distancia de seguridad significativa y basada en evidencia científica entre un proyecto CDR, incluyendo los sitios de inyección y almacenamiento, los oleoductos de CO<sub>2</sub> y la comunidad circundante.
- b. Agregar odorizantes al CO<sub>2</sub> para alertar a los empleados del proyecto y a los miembros de la comunidad sobre posibles fugas.
- c. Exigir que las operaciones de CDR se alimenten con energía limpia y cumplan con las leyes vigentes para garantizar que el dióxido de carbono no se utilice para la recuperación mejorada de petróleo, ni en California ni en ningún otro lugar.
- d. Exigir inversión en prácticas eficientes de respuesta a emergencias para dotar a los servicios de emergencia y a las comunidades con los recursos necesarios en caso de una fuga de dióxido de carbono.
- e. Exigir planes de acción correctiva que caractericen adecuadamente las vías de fuga de dióxido de carbono y desarrollen planes de remediación.
- f. Establecer una distancia máxima de transporte entre un proyecto y el sitio de almacenamiento para minimizar los riesgos de transporte.
- g. Incluir un análisis de los impactos ambientales y de salud pública de los proyectos propuestos, con atención a los impactos acumulativos en comunidades ya sobrecargadas. Este análisis debe realizarse a través del proceso CEQA y garantizar una consideración sólida de los impactos en la asequibilidad y el acceso al agua y la energía.

#### **Recomendación de política pública n.º 4:**

Apoyar la financiación continua para la investigación y el desarrollo de tecnologías de eliminación de carbono (CDR) para comprender mejor los impactos y las contrapartidas de estos proyectos y, eventualmente, ampliar las soluciones eficaces.

#### **Recomendación de política pública n.º 5:**

Apoyar la financiación continua y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza (NBS) en todo el estado de California, conforme a los objetivos de la Ley AB 1757, para garantizar una acción oportuna en la ampliación de la CDR para evitar temperaturas máximas así como para obtener los beneficios colaterales necesarios para la resiliencia climática.

#### **Recomendación de política pública n.º 6:**

Perfeccionar los protocolos de monitoreo, reporte y verificación (MRV) para las estrategias pertinentes de eliminación de carbono (CDR)<sup>146</sup> a fin de garantizar beneficios reales y adicionales en la eliminación de carbono.

#### **Recomendación de política pública n.º 7:**

Desarrollar un mecanismo de política pública para financiar de manera efectiva y continua la CDR, que no fomente la dependencia de los combustibles fósiles (es decir, sin compensaciones ni créditos de carbono) y que garantice que los contaminadores rindan cuentas de la reducción de su contaminación. Estos mecanismos de financiamiento pueden incluir mercados de cumplimiento, programas de responsabilidad extendida del productor, compras públicas e incentivos fiscales.

#### **Recomendación de política pública n.º 8:**

Apoyar la financiación continua para la colaboración con organizaciones locales de justicia ambiental y/o comunitarias a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, a fin de garantizar que los proyectos de eliminación de dióxido de carbono (CDR) industriales sean lo más beneficiosos posible para la comunidad y que existan incentivos para que los miembros de la comunidad participen en el proceso de divulgación.

---

<sup>146</sup> [https://co2re.org/wp-content/uploads/2023/11/CO2RE\\_Report\\_CDR\\_Permanence-FINAL-v7.pdf](https://co2re.org/wp-content/uploads/2023/11/CO2RE_Report_CDR_Permanence-FINAL-v7.pdf)

## Conclusión

El mundo está lejos de alcanzar los objetivos establecidos de cero emisiones netas. Por primera vez en 2024, las temperaturas medias globales superaron el objetivo de 1,5 grados Celsius del Acuerdo de París.<sup>147</sup> Esta tendencia se ha mantenido en 2025 y demuestra la necesidad de medidas extraordinarias para mitigar la crisis climática.

**En primer lugar, la producción y el consumo de combustibles fósiles y otras fuentes de emisiones de carbono deben eliminarse lo antes posible. Segundo, la CDR debe ampliarse e implementarse de manera responsable y equitativa para alcanzar los objetivos establecidos de cero emisiones netas, mitigar las emisiones residuales y restaurar el clima.** Las políticas y los métodos de CDR deben abarcar tanto soluciones basadas en la naturaleza como enfoques industriales emergentes que cuenten con una sólida capacidad de medición, durabilidad, escalabilidad y adicionalidad. Fundamentalmente, **deben desarrollarse salvaguardias** para garantizar que las comunidades y los ecosistemas no se vean perjudicados por estos proyectos.

Los gobiernos y las comunidades deberán utilizar todas las herramientas disponibles para garantizar un clima seguro. **El enfoque integral de CDR contribuirá a intensificar los esfuerzos de reducción de emisiones** y a generar diversos beneficios. La salud de los suelos, la restauración, la conservación, la creación de espacios verdes urbanos y la gestión forestal propiciarán la creación de comunidades, ecosistemas y sistemas alimentarios resilientes. DAC, ERW y otros enfoques emergentes de CDR fomentan la innovación y la creación de empleo, compensan las emisiones de las industrias difíciles de descarbonizar y proporcionan almacenamiento de dióxido de carbono a largo plazo.

Ahora es el momento de invertir en educación y participación comunitaria en materia de CDR, investigación y desarrollo de enfoques de ingeniería, y la ampliación de soluciones basadas en la naturaleza en toda California. La CDR será fundamental para alcanzar los objetivos climáticos establecidos, pero estas estrategias deben implementarse de manera responsable, segura y con una estrecha colaboración comunitaria.

---

<sup>147</sup> <https://www.pbs.org/newshour/politics/watch-live-nasa-and-noaa>

# Citas de la Tabla de Métodos Utilizados para la Eliminación de Dióxido de Carbono

1. Forestación, reforestación y gestión forestal
  - a. <https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/northwest/topic/>
  - b. <https://www.un-redd.org/sites/default/>
2. Captura y almacenamiento de carbono en el suelo
  - a. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal>
  - b. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads>
  - c. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads>
3. Gestión del carbono azul
  - a. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads>
  - b. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads>
4. Biocarbón
  - a. <https://www.climatefoundation.org/land-carbon-sequestration-biochar>
  - b. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/fact-sheet-biochar>
  - c. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/fact-sheet-biochar>
5. Meteorización mejorada de rocas
  - a. <https://puro.earth/enhanced-rock-weathering>
  - b. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/fact-sheet-enhanced>
  - c. <https://naturalcarboncapture.yale.edu/sites/default/files>
6. Aumento de la alcalinidad oceánica
  - a. <https://www.nature.com/articles/s43247-025-02248-7>
  - b. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads>
  - c. <https://www.american.edu/sis/centers/carbon-removal/fact-sheet-ocean>
7. Fertilización oceánica
  - a. <https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/climate-weather/ocean-based-climate-solutions/iron-fertilization>
  - b. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads>
  - c. <https://www.edf.org/sites/default/files/documents/Ocean%20Fertilization.pdf>
8. Cultivo y hundimiento de algas marinas
  - a. <https://www.science.org/content/article/can-dumping-seaweed>
  - b. <https://www.dosi-project.org/wp-content/uploads/Macroalgae>
  - c. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads/2023/06/mCDR>
  - d. <https://blogs.law.columbia.edu/climatechange/2025/04/10>
  - e. <https://www.science.org/content/article/can-dumping-seaweed>
9. Captura directa de aire (DAC)
  - a. <https://www.wri.org/insights/direct-air-capture-resource>
  - b. <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/climate-change>
  - c. <https://www.wri.org/insights/direct-air-capture-resource-considerations>
10. Biomasa con eliminación de dióxido de carbono y almacenamiento (BiCRS)
  - a. <https://www.climatefoundation.org/land-carbon-sequestration-biochar>
  - b. [https://roads2removal.org/wp-content/uploads/06\\_RtR](https://roads2removal.org/wp-content/uploads/06_RtR)

11. Afloramiento Artificial (AU) y Hundimiento Artificial (AD)

- a. <https://www.snexplores.org/article/stashing-more-co2-in-the-ocean>
- b. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads/2023/06/>
- c. <https://scholarship.law.columbia.edu/cgi/viewcontent>

12. Captura Directa del Océano (DOCS)

- a. <https://isometric.com/writing-articles/a-new-protocol-for-carbon-removal>
- b. <https://www.weforum.org/stories/2024/10/direct-ocean-capture-carbon>
- c. <https://sciencecouncil.noaa.gov/wp-content/uploads/2023/06/mCDR>
- d. <https://innovation.Engie.com/en/articles/detail/capture-directe-du>
- e. <https://oceanfdn.org/wp-content/uploads/2021/04/Direct-Carbon-Removal>
- f. <https://www.nrel.gov/news/detail/program/2024>

## Glosario

---

<b><u>Crédito fiscal 45Q (45Q)</u></b>	Un crédito fiscal federal destinado a incentivar la inversión en la captura y el almacenamiento de carbono, calculado por tonelada métrica de dióxido de carbono calificado eliminado y almacenado.
<b><u>Adicionalidad</u></b>	El valor o beneficio adicional que genera una acción, más allá de lo que habría ocurrido si no se hubiera realizado ninguna acción.
<b><u>Compromiso de mercado avanzado</u></b>	Un contrato vinculante de un gobierno o de una entidad financiera que garantiza un mercado inicial viable para un producto una vez desarrollado.
<b><u>Emisiones antropogénicas</u></b>	Actividad humana que provoca un aumento general de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Incluye el uso de combustibles fósiles y el cambio en el uso del suelo. Uso de combustibles fósiles, como el de los automóviles. Cambio de uso del suelo, como la deforestación o el desarrollo urbanístico.
<b><u>Acuífero</u></b>	Un cuerpo de roca porosa o de sedimento saturado de agua subterránea.
<b><u>Asfixiante</u></b>	Un vapor o gas que puede provocar pérdida de conocimiento o muerte por asfixia (falta de oxígeno).
<b><u>Emisiones evitadas</u></b>	Acción que ayuda a evitar la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera durante una operación. <i>Usar energía solar para alimentar un edificio en lugar de depender de la electricidad proveniente de combustibles fósiles.</i>
<b><u>Biomasa</u></b>	Material vegetal o animal utilizado como combustible. <i>Madera y subproductos agrícolas.</i>

---

<u><b>Ley Bipartidista de Infraestructura (BIL, por sus siglas en inglés)</b></u>	Proyecto de ley aprobado en 2021 para proporcionar nuevos fondos a proyectos de infraestructura, incluidos los de resiliencia.
<u><b>Créditos de carbono</b></u>	También conocidos como derechos de emisión de carbono, los créditos de carbono son permisos para emitir una cierta cantidad de dióxido de carbono. Estos créditos generalmente se adquieren de una entidad gubernamental.
<u><b>Dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e)</b></u>	Término abreviado que describe el impacto de otro GHG, equivalente a la masa de dióxido de carbono que tendría el mismo efecto de calentamiento global.  <i>Por cada kilogramo de metano (CH<sub>4</sub>), se emiten 25 kilogramos de dióxido de carbono.</i>
<u><b>Ciclo del carbono</b></u>	El flujo de carbono a través de la Tierra, el agua, los seres vivos y el aire, mediante la fotosíntesis, el fuego, la quema de combustibles fósiles, la meteorización y la actividad volcánica.
<u><b>Compensación de carbono</b></u>	Programas o políticas que permiten a empresas y particulares financiar actividades que resulten en reducciones de emisiones o en la eliminación de dióxido de carbono (CDR) para compensar sus emisiones excedentes. Esto puede hacerse a través de un mercado voluntario o de cumplimiento normativo.  <i>Una petrolera financia un proyecto de gestión forestal sostenible para compensar sus emisiones en una refinería.</i>
<u><b>Sumideros de carbono</b></u>	Cuando se absorbe más carbono de la atmósfera del que se libera.  <i>Árboles y océanos.</i>
<u><b>Fuente de carbono</b></u>	Cuando el carbono se libera a la atmósfera.  <i>Uso de combustibles fósiles, cambio en el uso del suelo, ecosistemas degradados.</i>
<u><b>CCS, por sus siglas en inglés.</b></u>	Captura y almacenamiento de carbono, que captan las emisiones de dióxido de carbono en el punto de emisión.  <i>Filtros en chimeneas.</i>

<b>CDR, por sus siglas en inglés.</b>	Eliminación del dióxido de carbono, lo que reduce las emisiones históricas en la atmósfera. <i>Captura directa del aire (DAC), almacenamiento de carbono biológico (BiCRS), soluciones basadas en la naturaleza a escala.</i>
<b>Estabilización climática</b>	Se refiere al objetivo de lograr un clima estable y de evitar los peores efectos del cambio climático.
<b><u>Acuerdo de beneficio comunitario</u></b>	Los acuerdos de Beneficio Comunitario (CBA) son contratos legalmente vinculantes entre organizaciones comunitarias y promotores inmobiliarios que describen cómo un proyecto mejorará la calidad de vida de los residentes. <i>El CBA de Aggie Square en Sacramento, CA invierte en vivienda asequible, en desarrollo de empleo y en un fondo para prioridades vecinales.</i>
<b>Planes de beneficio comunitario</b>	Describen cómo un proyecto beneficiará a los residentes locales y abordará sus inquietudes.
<b>Cumplimiento del mercado de carbono</b>	Un mercado regulado por una entidad gubernamental. En este contexto, se exige a las empresas que cumplan con objetivos de emisiones predeterminados mediante la compra y el uso de créditos. <i>Sistema de límites máximos de emisiones y comercio de derechos de emisión (Cap-and-trade).</i>
<b><u>Contrato por diferencia</u></b>	Fija un precio específico por la eliminación de carbono.
<b>Plan de acción correctiva</b>	Una estrategia para identificar, resolver y prevenir problemas en las operaciones.
<b><u>Descarbonización</u></b>	Proceso para detener y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera. <i>Utilizar energías limpias para alimentar un edificio en lugar de la electricidad generada a partir de combustibles fósiles.</i>
<b><u>Emisiones directas</u></b>	También conocidas como emisiones de Alcance 1. Son las emisiones que provienen de una fuente propiedad de una organización.

---

*Las emisiones de su automóvil mientras lo conduce.*

---

<b><u>Recuperación mejorada de petróleo</u></b>	Inyección de dióxido de carbono supercrítico en yacimientos petrolíferos para aumentar la producción de petróleo más allá de la extracción inicial.
<b><u>Responsabilidad extendida del productor</u></b>	Política que responsabiliza a los productores de la gestión del producto a lo largo de su ciclo de vida. El <a href="#"><i>Programa de Reciclaje Responsable de Baterías de California</i></a> establece un marco para la recolección y el reciclaje de baterías.
<b><u>Materia prima</u></b>	Material utilizado para producir otra cosa en un proceso industrial. <i>Madera para producir biocarbón mediante pirólisis.</i>
<b><u>Combustibles fósiles</u></b>	Hidrocarburos formados a partir de materia orgánica muerta enterrada a gran profundidad, sometida a presión y altas temperaturas durante cientos de millones de años. <i>Petróleo</i> <i>Gas natural</i> <i>Carbón</i>
<b><u>Comunidades de primera línea</u></b>	Comunidades que experimentan las primeras y peores consecuencias del cambio climático. <i>Comunidades que viven cerca de pozos petroleros activos, puertos marítimos, etc.</i>
<b><u>Captura y almacenamiento geológico de carbono</u></b>	El proceso de almacenamiento de dióxido de carbono en formaciones geológicas subterráneas.
<b><u>Gigatonelada de dióxido de carbono (GtCO<sub>2</sub>)</u></b>	Mil millones de toneladas métricas <a href="#"><i>NASA</i></a> : mil millones de toneladas métricas: 10 000 portaaviones estadounidenses completamente cargados.
<b><u>Gases de efecto invernadero (GHG, por sus siglas en inglés)</u></b>	Diversos compuestos gaseosos que atrapan el calor en la atmósfera y contribuyen al efecto invernadero. <i>Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)</i>

<b><u>Fondo para la Reducción de Gases de Efecto Invernadero (GGRF, por sus siglas en inglés)</u></b>	Los ingresos del programa California Cap-and-Invest se destinan, a través del Fondo para la Reducción de Gases de Efecto Invernadero, a apoyar programas y proyectos que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, a la vez que ofrecen beneficios económicos y ambientales a todos los californianos.
<b><u>Gobernanza</u></b>	Proceso de gobernar o supervisar el control y la dirección de un país, proyecto u organización
<b><u>Emisiones difíciles de evitar</u></b>	Emisiones extremadamente difíciles de eliminar en un plazo determinado o que, al intentarlo, afectarían el bienestar de las personas. <i>Industrias de la aviación y la construcción.</i>
<b><u>Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPPC, por sus siglas en inglés)</u></b>	Organismo de las Naciones Unidas encargado de evaluar la ciencia relacionada con el cambio climático.
<b><u>Kilovatio-hora (kWh)</u></b>	Medida de energía por hora.
<b><u>Fugas</u></b>	Dióxido de carbono que ha escapado de sus depósitos y ha regresado a la atmósfera. <i>Dióxido de carbono liberado de los depósitos subterráneos de almacenamiento.</i>
<b><u>Emisiones históricas</u></b>	Emisiones, principalmente de dióxido de carbono, liberadas a la atmósfera en el pasado.
<b><u>Análisis del ciclo de vida</u></b>	El análisis sistemático del impacto ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, material o proceso.
<b><u>Medición, reporte y verificación (MRV)</u></b>	Proceso de varios pasos que mide la reducción de emisiones de GHG mediante una estrategia de mitigación e informa a un tercero sobre estos resultados. El tercero verifica el informe.

<u><b>Metano (<math>\text{CH}_4</math>)</b></u>	Un gas incoloro e inodoro que se encuentra en abundancia en la naturaleza y se produce en las actividades humanas. Es el gas de efecto invernadero más potente.
<u><b>Relaces mineros</b></u>	Material rocoso sobrante de una operación minera, generalmente almacenado en balsas o pilas.
<u><b>Riesgo moral</b></u>	Preocupaciones éticas sobre que la eliminación de carbono (CDR) ralentice y retrase los esfuerzos de reducción de emisiones.
<u><b>Tierras naturales y productivas</b></u>	Diversos tipos de terreno, que abarcan tanto tierras naturales (bosques) como tierras productivas (granjas). <i>Granjas, humedales, bosques, áreas urbanas, pastizales.</i>
<u><b>Oxido nitroso (<math>\text{N}_2\text{O}</math>)</b></u>	Un gas de efecto invernadero potente y de larga vida útil que se emite por los fertilizantes nitrogenados y los desechos animales.
<u><b>Soluciones basadas en la naturaleza (NBS, por sus siglas en inglés)</b></u>	Acciones para proteger, restaurar y gestionar las tierras naturales y productivas con el fin de abordar los desafíos sociales y el cambio climático. <i>Mejorar la calidad del suelo para capturar más carbono y aumentar la producción de alimentos.</i>
<u><b>Emisiones netas cero</b></u>	Esto se refiere a un escenario en el que todas las emisiones de los seres humanos se compensan mediante la captura de carbono en la atmósfera.
<u><b>Emisiones netas negativas</b></u>	Cuando la eliminación deliberada de gases de efecto invernadero de la atmósfera excede la cantidad de gases emitidos.
<u><b>Agricultura sin labranza</b></u>	Cuando el suelo se deja intacto.
<u><b>Estratificación oceánica</b></u>	La estratificación del agua del océano, basada en las diferencias de densidad, afecta a la vida marina y al clima.

<u>Odorantes</u>	Aditivos químicos que generan un olor distintivo para facilitar la detección temprana de fugas de gas.
<u>Carbono orgánico</u>	Medida del contenido de carbono en los suelos, derivado de la materia vegetal y animal.
<u>Overshoot</u>	Escenarios climáticos en los que las trayectorias de emisiones superan sus objetivos de concentración o de temperatura, y luego se recurre a la eliminación de carbono (CDR) a gran escala para alcanzarlos.
<u>Acuerdo de París</u>	Tratado internacional jurídicamente vinculante sobre el cambio climático para limitar la temperatura media mundial a menos de 2 °C.
<u>Partes por millón (ppm)</u>	Número de unidades de masa de un contaminante por millón de unidades de masa total.  <i>Actualmente hay alrededor de 420 ppm de dióxido de carbono en la atmósfera, pero debería ser inferior a 350 ppm.</i>
<u>Permanencia (o durabilidad)</u>	La duración del dióxido de carbono que puede almacenarse de forma estable y segura.  <i>Un árbol puede almacenar dióxido de carbono durante décadas, dependiendo de su vida útil.</i>  <i>El dióxido de carbono puede almacenarse en el hormigón durante siglos.</i>
<u>Fuente puntual</u>	Fuente de contaminación local, fija y concentrada.  <i>Chimenea, tubo de escape.</i>
<u>Adquisición</u>	En el caso de la eliminación de carbono (CDR), se refiere a la compra, por parte del gobierno, de créditos de carbono para financiar proyectos.  <i>Carbon Dioxide Removal Purchase Pilot Prize [Programa piloto de compra de créditos de carbono]</i> del Departamento de Energía de EE. UU.
<u>Pirólisis</u>	Calentamiento de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.  <i>Conversión de biomasa en biocarbón y bioaceite.</i>

<b><u>Reservorio</u></b>	Cualquier lugar donde se almacenen gases de efecto invernadero (GHG).  <i>Bosques, océanos, pozos, suelo, rocas.</i>
<b>Derecho de rechazo</b>	El derecho de una comunidad a rechazar un proyecto industrial de CDR propuesto que se encuentre dentro de su localidad.
<b>Derecho de restitución</b>	Derecho a una compensación financiera si una comunidad se ve perjudicada por un proyecto industrial de CDR.
<b><u>Distancia de retiro</u></b>	La distancia mínima requerida entre un edificio y un proyecto de eliminación de dióxido de carbono, un sitio de secuestro o un oleoducto.
<b><u>Carbono orgánico del suelo (SOC, por sus siglas en inglés)</u></b>	Componente medible de la materia orgánica del suelo.
<b><u>Estado supercrítico</u></b>	Estado del dióxido de carbono cuando se mantiene por encima de sus temperaturas y presiones críticas. En este punto, el dióxido de carbono presenta propiedades intermedias entre un gas y un líquido.
<b><u>Mercado voluntario de carbono</u></b>	Intercambio de emisiones de carbono evitadas o eliminadas a través de un mercado no creado por políticas públicas.  <i>Mercado de carbono Frontier</i>
<b><u>Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC, por sus siglas en inglés)</u></b>	Compuestos con alta presión de vapor y baja solubilidad en agua. Suelen ser componentes de combustibles derivados del petróleo, de disolventes de pintura y de agentes de limpieza en seco.

## Recursos adicionales

1. Comprender la eliminación de dióxido de carbono
  - a. [TCC Webinar Series \[Serie de seminarios web de TCC\]](#)
  - b. [AirMiners BootUp](#)
  - c. [CDR Primer \[Introducción a la eliminación de dióxido de carbono\]](#)
  - d. [Visualizing Jobs in a Carbon Dioxide Economy \[Visualización de empleos en una economía del dióxido de carbono\]](#)
  - e. [RMI CDR Taxonomy \[Taxonomía de la CDR de RMI\]](#)
  - f. [Co-benefits of NBS exceed cost of implementation \[Los beneficios colaterales de las soluciones basadas en la naturaleza superan el costo de implementación\]](#)
  - g. [Groundbreaking Technology in CDR \[Tecnología innovadora en CDR\]](#)
  - h. [IPCC Reports \[Informes del IPCC\]](#)
  - i. [Marine CDR Code of Conduct \[Código de conducta para la CDR marina\]](#)
  - j. [DIY DAC Unit \[Unidad de captura directa del aire casera\]](#)
  - k. [Video: How Big is 1 Ton of CO2? \[Video: ¿qué tan grande es una tonelada de dióxido de carbono?\]](#)
  - l. [Scale of CDR needed to remove 1 GT C \[Escala de CDR necesaria para eliminar 1 GT de dióxido de carbono\]](#)
2. Comprender el mercado de la eliminación de dióxido de carbono
  - a. [Scaling Carbon Removal \[Ampliación de la eliminación de carbono\]](#)
  - b. [MRV and Carbon Removal \[MRV y eliminación de carbono\]](#)
  - c. [Standards, Methodologies, and Protocols of Durable Carbon Removal \[Normas, metodologías y protocolos de eliminación de carbono sostenible\]](#)
  - d. [High Quality Carbon Removal Credits \[Créditos de eliminación de carbono de alta calidad\]](#)
  - e. [Carbon and Land Use Model \(CALM\) \[Modelo de carbono y uso de la tierra \(CALM, por sus siglas en inglés\)\]](#)
3. Eliminación de dióxido de carbono en California
  - a. Proyectos de ley
    - i. [Proyecto de ley SB 1314](#) (Prohibición de la recuperación mejorada de petróleo)
    - ii. [Proyecto de ley AB 32](#) (Estándar de combustible bajo en carbono)

- iii. [Proyecto de ley SB 905](#) (Creación de un marco regulatorio para la captura de carbono)
    - iv. [Proyecto de ley AB 1757](#) (Ley de soluciones al calentamiento global de California de 2006: Objetivo Climático: Tierras naturales y de trabajo)
    - v. [Proyecto de ley SB 27](#) (Registro de proyectos de captura y almacenamiento de carbono y resiliencia climática de California)
    - vi. El [proyecto de ley AB 2447](#) exige que los miembros desfavorecidos de la comunidad reciban un aviso adecuado para aportar ideas sobre proyectos relacionados con la CEQA.
  - b. [Lessons Learned from California's Carbon Dioxide Removal Policies](#)  
[Lecciones aprendidas de las políticas de captura de dióxido de carbono de California]
  - c. [CalEnviroscreen](#)
  - d. [Overshoot & CDR](#) [Exceso de emisiones y eliminación de dióxido de carbono (CDR)]
  - e. [The Role of Cities and Carbon Dioxide Removal](#) [El papel de las ciudades en la eliminación de dióxido de carbono]
  - f. [The City CDR Initiative](#) [La iniciativa de la ciudad para la eliminación de dióxido de carbono (CDR)]
4. Eliminación de dióxido de carbono y justicia ambiental
- a. [California Environmental Justice Advisory Committee Resolution](#)  
[Resolución del Comité Asesor de Justicia Ambiental de California]
  - b. [EJ Opposition to DAC](#) [Oposición a la captura directa de aire (DAC) desde la perspectiva de la justicia ambiental]
  - c. [Indigenous Perspectives on Climate Engineering](#) [Perspectivas indígenas sobre la geoingeniería climática]
  - d. [Community Alliance for Direct Air Capture \(CALDAC\)](#) [Alianza Comunitaria para la Captura Directa de Aire (CALDAC)]
  - e. [Pipeline Safety Trust CO2 Pipeline Risks](#) [Riesgos de los oleoductos de dióxido de carbono (Pipeline Safety Trust)]
  - f. [Charting a Path to Just Direct Air Capture Hubs](#) [Trazando un camino hacia centros de captura directa de aire justos]
  - g. [Regulatory and Knowledge Gaps in CO2 Pipeline Transportation](#)  
[Deficiencias regulatorias y de conocimiento en el transporte de dióxido de carbono por oleoducto]

- h. [WRI How to Scale CDR Responsibly \[WRI Cómo escalar la eliminación de dióxido carbono de forma responsable\]](#)
- i. [Rethinking Local Control: Placing Environmental Justice and Civil Rights at the Heart of Land Use Decision-Making \[Repensando el control local: La justicia ambiental y los derechos civiles en el centro de la toma de decisiones sobre el uso del suelo\]](#)
- j. <https://carbon180.org/blog/a-first-step-in-defining-equitable-and-just-carbon-removal/>
- k. [Ocean CDR Social Considerations \[Consideraciones sociales sobre la eliminación de dióxido de carbono oceánico\]](#)