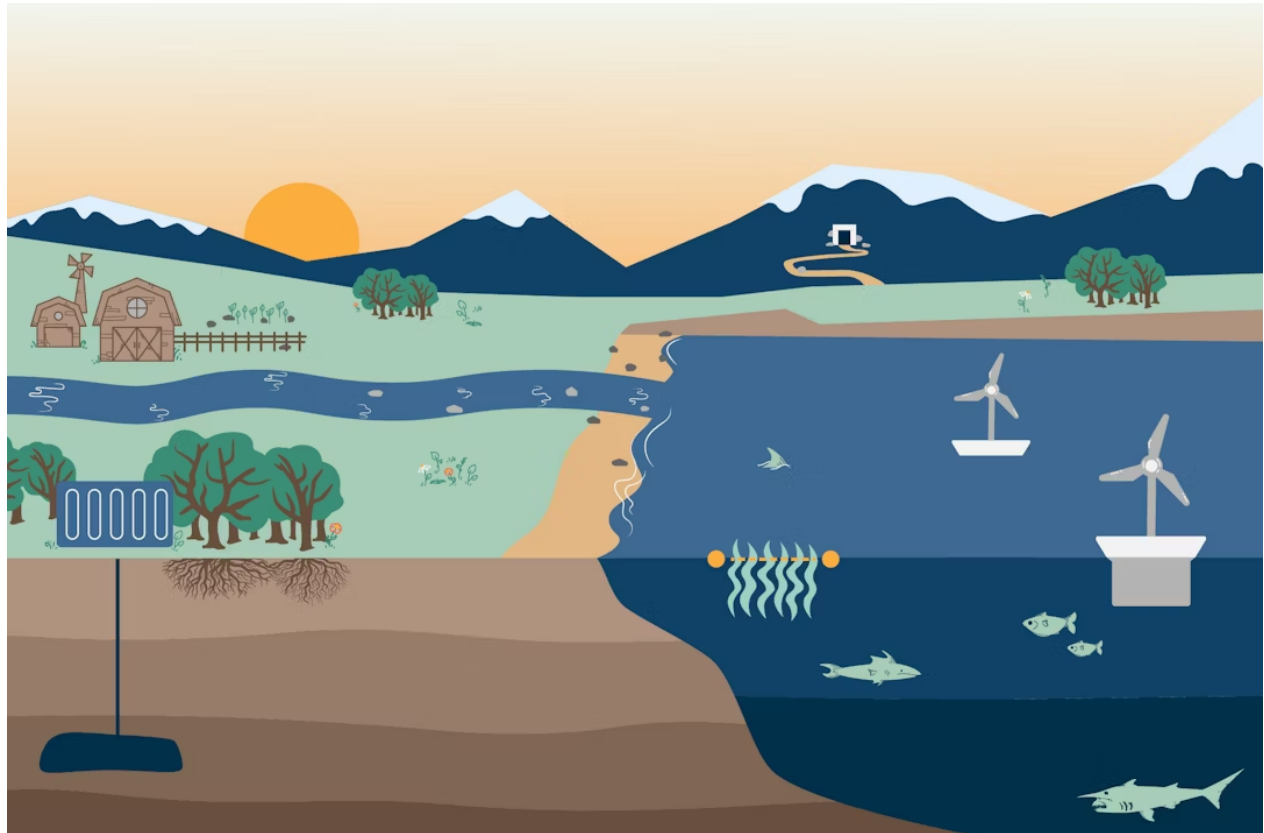


**MEMO** Published May 17, 2024 • 22 minute read

# Una Guía Explicativa sobre la Remoción de Dióxido de Carbono



*Nicholas Yoon, Policy Advisor for Carbon Management, Dr. Rudra V. Kapila, Deputy Director of Carbon Management and Hydrogen, Olivia Sherman, Graphic Designer*

## Resumen Ejecutivo

En su informe de síntesis más reciente, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) señala que es muy probable que el planeta supere los 1.5 grados Celsius de calentamiento antes del año 2050 <sup>1</sup>.

Si bien el IPCC informó que devolver las temperaturas globales por debajo de este umbral de 1.5 grados Celsius es posible, enfatizó que tal escenario será imposible sin esfuerzos significativos de remoción de dióxido de carbono (CDR, por sus siglas en inglés) para reducir las emisiones heredadas (es decir, emisiones de años anteriores) de la atmósfera. De hecho, la Academia Nacional

de Ciencias ha estimado que cumplir con los objetivos del Acuerdo de París requerirá escalar hasta 10 gigatoneladas (Gt) de CDR anualmente para 2050, y agregar 20 Gt de CDR cada año para 2100 <sup>2</sup> .

Si bien los Estados Unidos han emergido como líder global en el espacio de CDR al impulsar importantes inversiones federales en investigación, desarrollo y despliegue (RD&D, por sus siglas en inglés) de CDR y apoyo político mediante créditos fiscales para CDR, muchos de estos esfuerzos se han centrado en algunos pocos métodos, principalmente la captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés), es decir, un proceso de ingeniería para remover CO<sub>2</sub> del aire ambiente. Lograr los altos niveles de remoción de CO<sub>2</sub> necesarios para alcanzar nuestros objetivos climáticos requerirá el desarrollo y despliegue a gran escala de un portafolio diverso de métodos de CDR además y más allá de DAC. Sin embargo, muchos de estos métodos de CDR no-DAC aún están en etapa incipiente y no son tan comprendidos como DAC, con muchos operando en niveles de preparación tecnológica (TRLs, por sus siglas en inglés) relativamente bajos y altos costos desde su instalación y operación inicial.

El objetivo de esta guía explicativa es proporcionar a los lectores herramientas visuales detalladas y descripciones básicas de los métodos de CDR incipientes que actualmente se están desarrollando. Los métodos de CDR descritos en esta guía incluyen biomasa con remoción y almacenamiento de carbono (BiCRS, por sus siglas en inglés), entierro de biomasa, intemperismo mejorado de rocas, aumento de la alcalinidad oceánica, captura directa de océano (DOC, por sus siglas en inglés), hundimiento de carbono en los océanos, alteración de nutrientes y remoción basada en la naturaleza. A través de esta guía, los lectores desarrollarán una comprensión fundamental de los procesos involucrados en estos métodos de CDR. Nuestra esperanza es que los miembros de la comunidad de políticas energéticas puedan utilizar esta guía como fuente de referencia al participar en trabajos de políticas de CDR.

## Introducción

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) ha dejado en claro que limitar el calentamiento global a 1.5 a 2 grados Celsius para el año 2100 será casi imposible sin una remoción generalizada y a escala comercial de dióxido de carbono (CDR) <sup>3</sup> . De hecho, un informe de 2023 dirigido por la Universidad de Oxford sugiere que la capacidad de CDR basada en tecnología tendrá que aumentar de 1,300 a 4,900 veces para 2050 para limitar el calentamiento de 1.5 a 2 grados Celsius para fines de siglo <sup>4</sup> . Para darle una idea de la ampliación requerida, las capacidades de CDR actuales están limitadas a nivel de kilotoneladas, con algunos ejemplos prominentes siendo la planta DAC Orca de Climeworks que puede remover hasta 4,000 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> por año <sup>5</sup> y la instalación DAC de California recientemente presentada por Heirloom que puede remover hasta 1,000 toneladas de CO<sub>2</sub> por año <sup>6</sup> . **Las mayores limitaciones en la escalabilidad de CDR difieren según el tipo de enfoque: los enfoques basados en la naturaleza requieren grandes áreas de tierra y superficies oceánicas para lograr la captura de CO<sub>2</sub> a gran**

escala, mientras que los enfoques tecnológicos requieren energía para extraer de un sistema de red ya tenso <sup>7</sup>.

## ¿Qué es la Remoción de Dióxido de Carbono (CDR)?

La remoción de dióxido de carbono (CDR) es la práctica de eliminar dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del aire ambiente y los océanos. Una vez eliminado, el CO<sub>2</sub> puede ser almacenado durante mucho tiempo (es decir, secuestrado) o transformado y utilizado para otros fines (es decir, utilización). La CDR difiere de la evitación de carbono en que la CDR captura las emisiones de carbono que ya existen en la atmósfera mientras que la evitación de carbono evita que las futuras emisiones de carbono se liberen en la atmósfera <sup>8</sup>. La CDR abarca una amplia variedad de métodos de remoción con niveles variables de costo, capacidad de captura de CO<sub>2</sub>, permanencia del almacenamiento (es decir, cuánto tiempo el CO<sub>2</sub> está almacenado de forma segura) y requisitos de monitoreo (es decir, los recursos necesarios para garantizar que el CO<sub>2</sub> esté almacenado de forma segura). Sin embargo, **la característica más importante de un método de CDR es que la cantidad de carbono removido y secuestrado debe ser mayor que el carbono emitido a lo largo de la cadena de valor del método** <sup>9</sup>. Si un método no logra esto, entonces no se considera una verdadera CDR.

## El Estado de la CDR

Durante los últimos años, los Estados Unidos han asignado miles de millones de dólares para aumentar su capacidad de CDR a través de la Ley de Infraestructura Bipartidista (BIL, por sus siglas en inglés) y la Ley de Reducción de la Inflación (IRA, por sus siglas en inglés). Gran parte de este apoyo político ha llegado en forma de financiamiento de proyectos y mejoras en las políticas de crédito fiscal centradas principalmente en desarrollar un método de CDR: Captura directa de aire (DAC, por sus siglas en inglés), es decir, la eliminación de CO<sub>2</sub> del aire ambiente. Por ejemplo, en 2022, la IRA promulgó la mejora del crédito fiscal 45Q que aumentó el valor del crédito de \$50 a \$180 por tonelada de CO<sub>2</sub> para DAC y el secuestro de CO<sub>2</sub> en formaciones geológicas salinas <sup>10</sup>. Además de DAC, muchos métodos de CDR existen en niveles de preparación tecnológica (TRLs) relativamente bajos, lo que significa que estos métodos aún están en las primeras etapas de investigación, desarrollo y despliegue (RD&D). Aumentar la capacidad de CDR a la magnitud necesaria para alcanzar nuestros objetivos climáticos requerirá un apoyo político significativo hacia el RD&D de estos métodos de CDR más incipientes y el crecimiento de un portafolio de CDR más diverso.

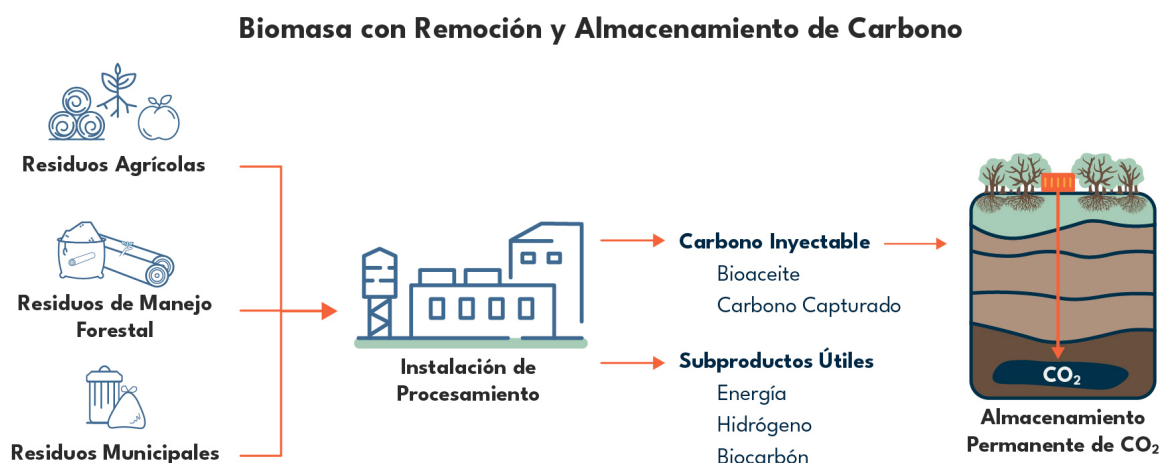
## ¿Por Qué una Guía Explicativa de CDR?

La CDR es un término genérico que abarca un amplio portafolio de métodos de remoción que involucran una multitud de tecnologías incipientes y procesos científicos, muchos de los cuales no

son bien entendidos por el público ni por algunos miembros de la comunidad de políticas energéticas. Esta guía explicativa tiene como objetivo informar al lector sobre los procesos detrás de estos métodos de CDR incipientes mediante diagramas simples, resúmenes y descripciones libres de jerga. Una consideración adicional de temas como la permanencia, el costo y la escalabilidad de estos métodos se puede encontrar en nuestro informe *Scaling to the Skies* (Escalando hacia el cielo).

# Métodos de Remoción de Dióxido de Carbono (CDR) Explicados

## Biomasa con Remoción y Almacenamiento de Carbono (BiCRS)



**Nota:** Representación del proceso general compartido por varias técnicas para la biomasa con captura y almacenamiento de carbono. De izquierda a derecha se representan: materiales de biomasa residual que contienen carbono, una instalación que puede procesar esos materiales ricos en carbono, una lista de productos creados a partir de ese procesamiento, incluyendo carbono inyectable y otros productos útiles, una representación del carbono inyectable creado que se inyecta en un almacenamiento geológico subterráneo seguro y permanente.

**Ver también:** Una guía de métodos de remoción de dióxido de carbono

**Fuentes:**

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2019. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25259>.

D. Sandalow, R. Aines, J. Friedmann, C. McCormick, D. Sanchez. 2020. Biomass Carbon Removal and Storage (BiCRS) Roadmap. Innovation for Cool Earth Forum.



## Resumen

La biomasa con remoción y almacenamiento de carbono (BiCRS) combina la fotosíntesis con reacciones químicas de alta temperatura para transformar los desechos de biomasa en varios materiales ricos en carbono para el almacenamiento subterráneo permanente y/o la utilización.

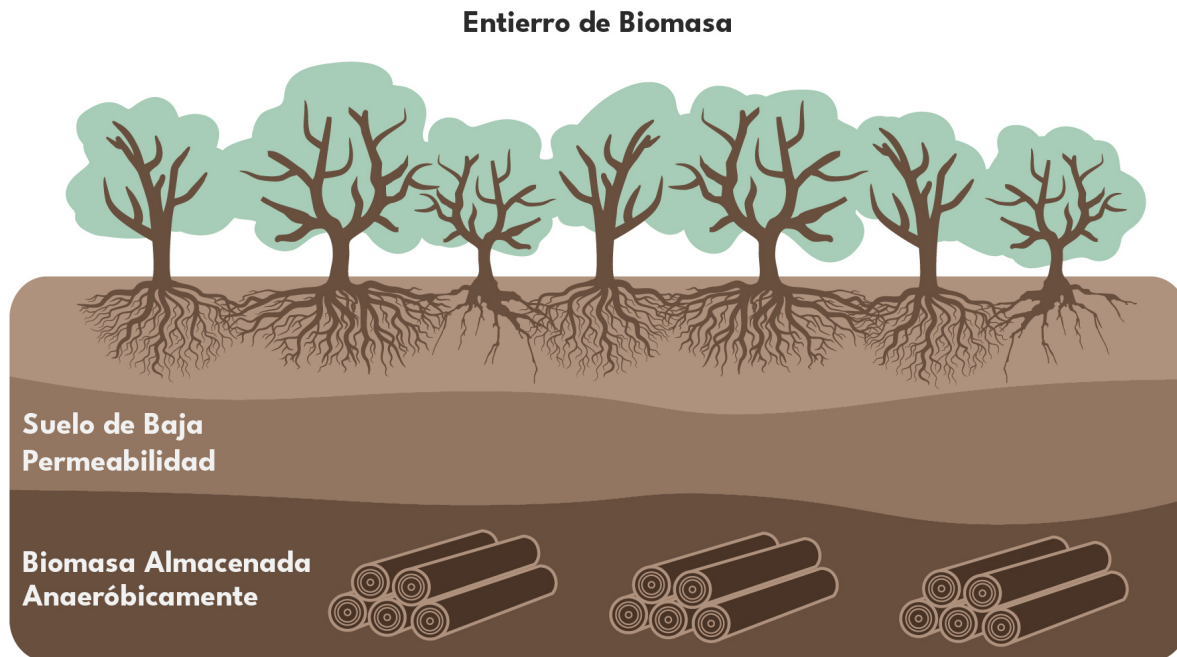
## Descripción

Durante la fotosíntesis, las plantas capturan CO<sub>2</sub> y lo convierten en un material rico en carbono llamado biomasa. La fotosíntesis es un método natural de remoción de carbono de la atmósfera; sin embargo, el carbono solo se almacena en la planta durante su vida útil. Cuando una planta muere, su biomasa se descompone y el CO<sub>2</sub> junto con otros gases de efecto invernadero (por ejemplo, metano y óxido nitroso) se liberan nuevamente a la atmósfera.

El proceso de biomasa con remoción y almacenamiento de carbono (BiCRS) comienza con la recolección de biomasa en forma de desechos agrícolas, manejo forestal o municipal y su transporte a una instalación de procesamiento. Allí, los desechos se calientan a temperaturas extremadamente altas en un recipiente donde están expuestos a una cantidad controlada de aire y vapor (es decir, gasificación) o no hay aire en absoluto para producir líquidos (a través de la pirólisis) o sólidos (a través de la torrefacción). Estos procesos químicos y de alta temperatura transforman los desechos de biomasa en otros materiales ricos en carbono. Estos materiales ricos en carbono consistirán en diferentes cantidades de sólidos (por ejemplo, biocarbón), líquidos (por ejemplo, bioaceite) y gases (por ejemplo, gas de síntesis) dependiendo de si se utilizó gasificación, pirólisis o torrefacción en el recipiente.

El biocarbón se puede utilizar en tierras agrícolas como fertilizante e impactar la capacidad de secuestro de carbono del suelo. El bioaceite se puede inyectar en el subsuelo profundo en formaciones rocosas porosas debajo de una capa impermeable de roca para un almacenamiento permanente o refinarse en combustible. El gas de síntesis se puede convertir en una mezcla de hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Una vez separado, el hidrógeno se puede utilizar como combustible o para otros fines industriales y el CO<sub>2</sub> se puede capturar y almacenar permanentemente bajo tierra.

# Entierro de Biomasa



Fuente: Gooding, James L. "Geologic perspective for carbon sequestration by woody biomass burial." Science and Technology for Energy Transition 78 (2023): 17.



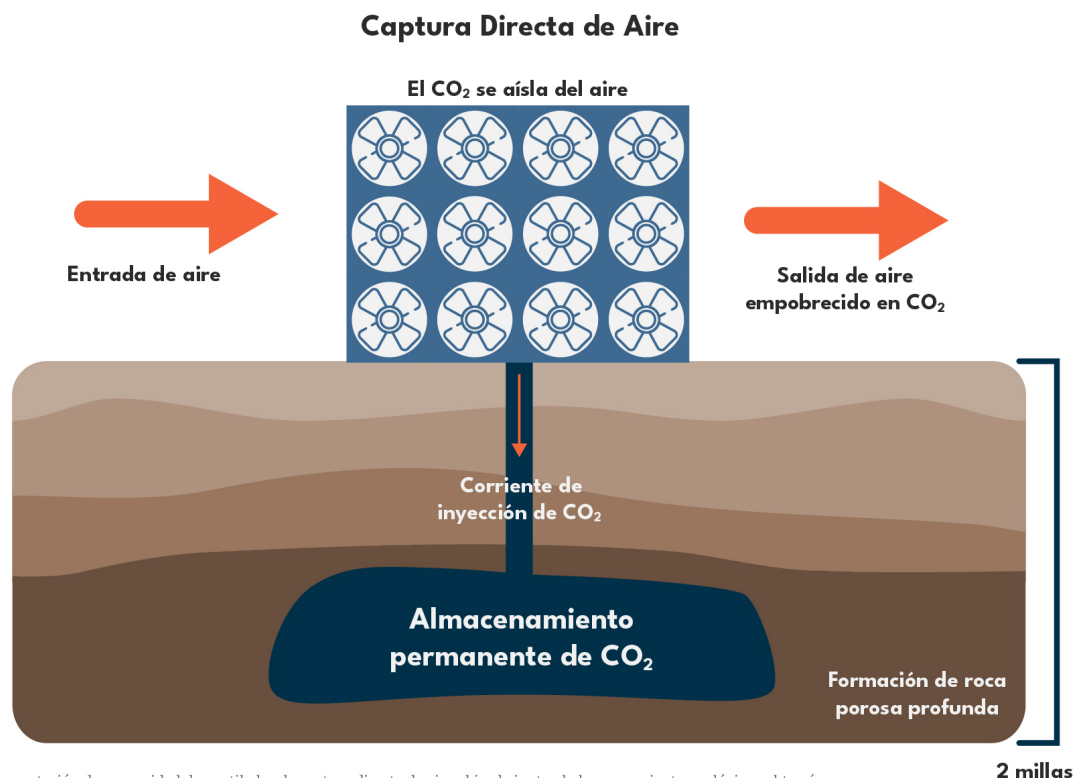
## Resumen

El entierro de biomasa combina la fotosíntesis con prácticas de entierro para secuestrar de manera segura el carbono almacenado en la biomasa debajo del suelo casi impermeable.

## Descripción

Otra forma de remoción de carbono basada en la biomasa implica su entierro, pero sin someterse a tratamiento químico y de alta temperatura en una instalación de procesamiento (por ejemplo, los procesos descritos en la sección anterior). Aquí, la biomasa se secuestra directamente varios metros bajo tierra, debajo de un suelo casi impermeable (por ejemplo, arcilla). Aunque no se almacena a las mismas profundidades que BiCRS, aproximadamente 2 millas, la capa casi impermeable de suelo sobre la biomasa enterrada ayuda a bloquear el oxígeno y el agua. Esto evita que la biomasa enterrada se descomponga y, en consecuencia, libere CO<sub>2</sub> nuevamente a la atmósfera. Sin embargo, se necesita un análisis adicional para comprender mejor la permanencia del almacenamiento, así como los requisitos de monitoreo y medición para este método, como se señala en nuestro informe [\*Scaling to the Skies\*](#)

# Captura Directa de Aire (DAC)



**Nota:** Representación de una unidad de ventilador de captura directa de aire ubicada junto al almacenamiento geológico subterráneo.

**Ver también:** Una guía de métodos de remoción de dióxido de carbono.

**Fuente:**

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2019. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda.

Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25259>.



## Resumen

La captura directa de aire (DAC) utiliza ventiladores para canalizar el aire ambiente a través de materiales reactivos al CO<sub>2</sub> que capturan CO<sub>2</sub> para su secuestro permanente bajo tierra sin capturar otras moléculas de aire.

## Descripción

Un módulo de captura directa de aire (DAC) utiliza ventiladores para empujar el aire ambiente a través de pilas de marcos incrustados con ciertos sólidos (es decir, solventes) o líquidos (es decir, disolventes) que se unen químicamente con las moléculas de CO<sub>2</sub> pero permiten que otras moléculas de aire (es decir, nitrógeno, oxígeno, etc.) pasen. Luego, los marcos se retiran del módulo y se tratan con calor, presión o productos químicos para separar el CO<sub>2</sub> de los solventes/disolventes.

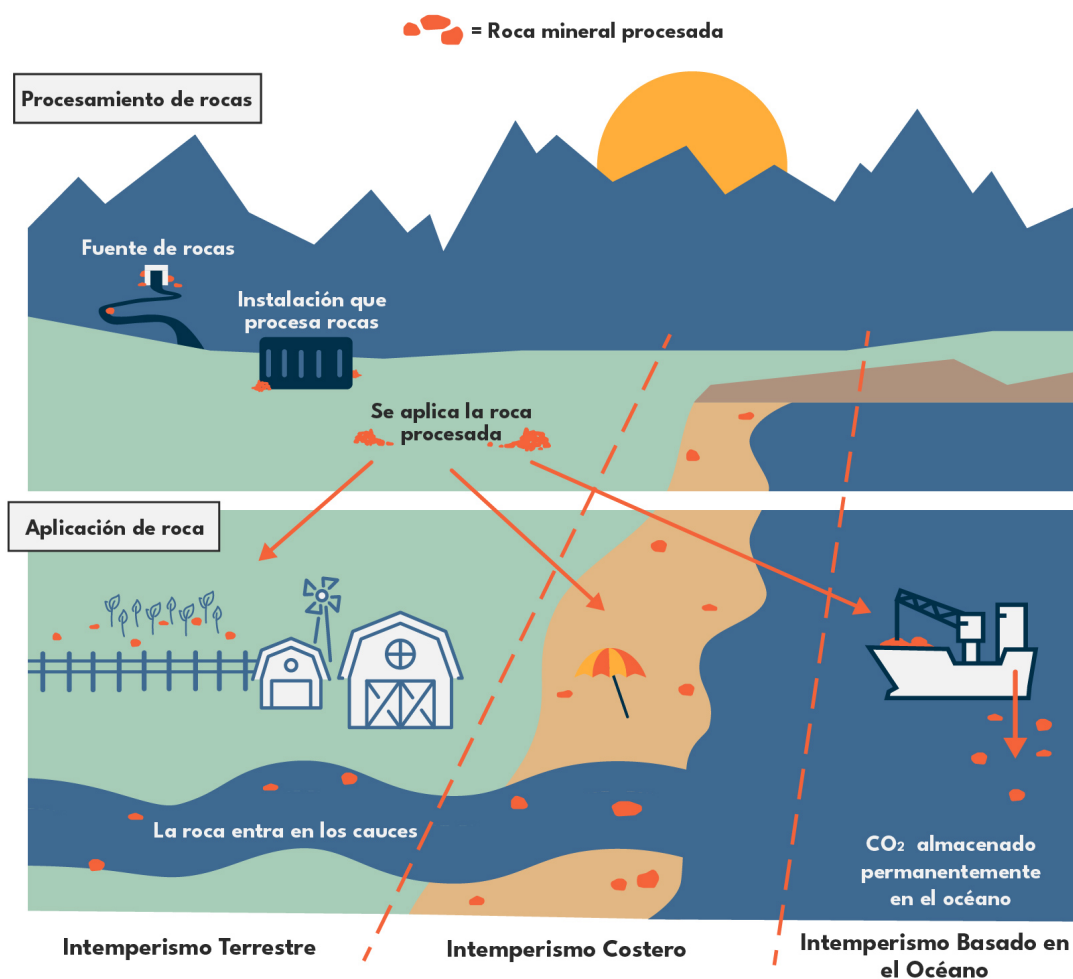
El CO<sub>2</sub> separado, que es de alta pureza (es decir, una corriente de aire con una concentración de CO<sub>2</sub> superior al 97 %), se comprime, inyecta y se secuestra profundamente bajo tierra en formaciones rocosas porosas debajo de una capa impermeable de roca. Aunque la DAC para la remoción de carbono es relativamente nueva, los otros pasos (es decir, compresión e inyección subsuperficial) han estado disponibles durante un tiempo. También es importante tener en cuenta que el secuestro de CO<sub>2</sub> no es lo mismo que la recuperación mejorada de petróleo (EOR, por sus siglas en inglés). Mientras que ambos implican la compresión e inyección de CO<sub>2</sub> bajo tierra, el secuestro de CO<sub>2</sub> se utiliza únicamente para almacenar permanentemente el CO<sub>2</sub> bajo tierra, mientras que la EOR se utiliza para aumentar el flujo de petróleo de los yacimientos de combustibles fósiles.

Ahora que están agotados de CO<sub>2</sub>, los marcos se vuelven a insertar en el módulo DAC y se reutilizan para capturar más CO<sub>2</sub> ambiente. Capturar CO<sub>2</sub> del aire es más costoso y demanda más energía en comparación con capturarlo de una fuente específica. Esto se debe a que el CO<sub>2</sub> en la atmósfera está mucho más disperso que, por ejemplo, en las emisiones de una central eléctrica o una planta de cemento.



# Intemperismo Mejorado de las Rocas (Mineralización Ex-Situ)

## Intemperismo Mejorado de las Rocas (Mineralización Ex-Situ)



Fuente:

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2019. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda.

Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25259>.



## Resumen

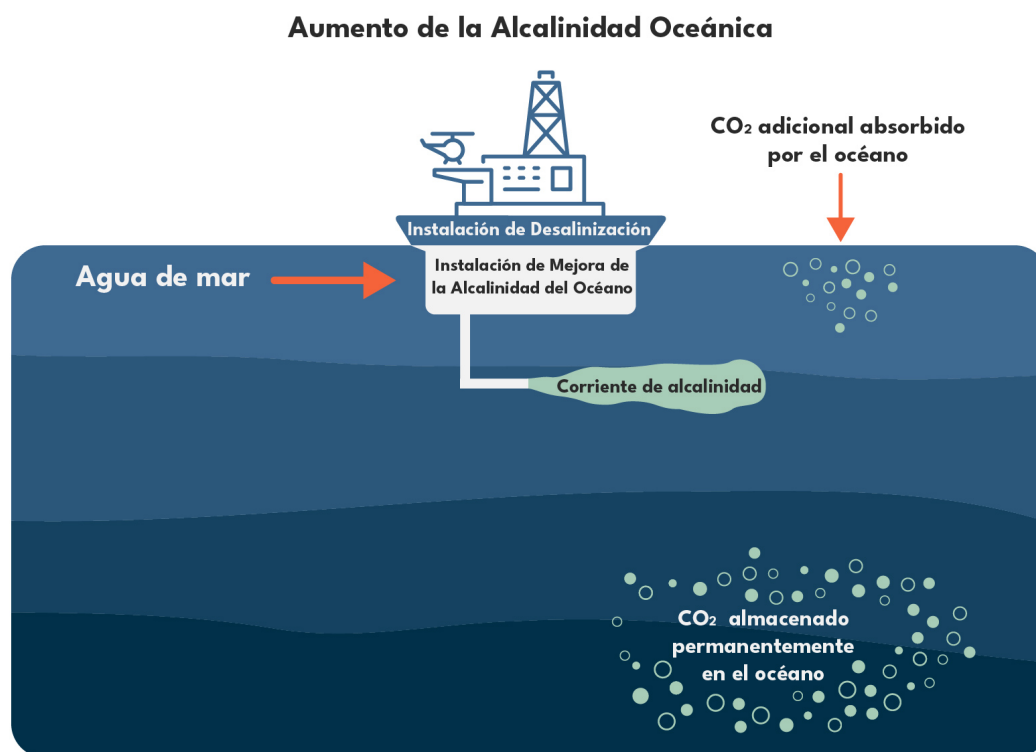
El intemperismo mejorado de rocas (mineralización ex-situ) implica moler rocas reactivas al CO<sub>2</sub> en una instalación de procesamiento y distribuir las en tierras y superficies oceánicas para acelerar la remoción de carbono a través de la mineralización del CO<sub>2</sub>.

## Descripción

El intemperismo mejorado de rocas utiliza un proceso natural llamado mineralización del CO<sub>2</sub> para la remoción de carbono. La mineralización del CO<sub>2</sub> ocurre cuando el CO<sub>2</sub> atmosférico se disuelve en el agua de lluvia, que luego se une a rocas alcalinas (es decir, rocas ricas en minerales altamente reactivos con CO<sub>2</sub>) para formar minerales de carbono sólidos. Esto efectivamente extrae CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo absorbe en la roca. La mineralización ex-situ se refiere a procesos de mineralización del CO<sub>2</sub> que tienen lugar en o sobre la superficie terrestre.

El intemperismo mejorado de rocas implica recolectar y moler rocas alcalinas en una instalación de procesamiento para aumentar su área superficial para reacciones de CO<sub>2</sub>, aumentando así la tasa de remoción de carbono a través de la mineralización del CO<sub>2</sub>. La roca procesada se puede aplicar a superficies terrestres (por ejemplo, parcelas agrícolas), superficies costeras o superficies oceánicas. Cuando se expone al agua, esta roca procesada reacciona, captura y secuestra permanentemente CO<sub>2</sub> atmosférico como minerales de carbono.

## Aumento de la Alcalinidad Oceánica



**Fuente:** Cross, J.N., Sweeney, C., Jewett, E.B., Feely, R.A., McElhany, P., Carter, B., Stein, T., Kitch, G.D., and Gledhill, D.K., 2023. Strategy for NOAA Carbon Dioxide Removal Research: A white paper documenting a potential NOAA CDR Science Strategy as an element of NOAA's Climate Interventions Portfolio. NOAA Special Report. NOAA, Washington DC. DOI: 10.25923/gzke-8730

## Resumen

El aumento de la alcalinidad oceánica implica transformar minerales reactivos al CO<sub>2</sub> en una solución alcalina e inyectar la solución en el océano para aumentar la conversión de CO<sub>2</sub> en compuestos de carbono disueltos para el secuestro de carbono permanente en el océano.

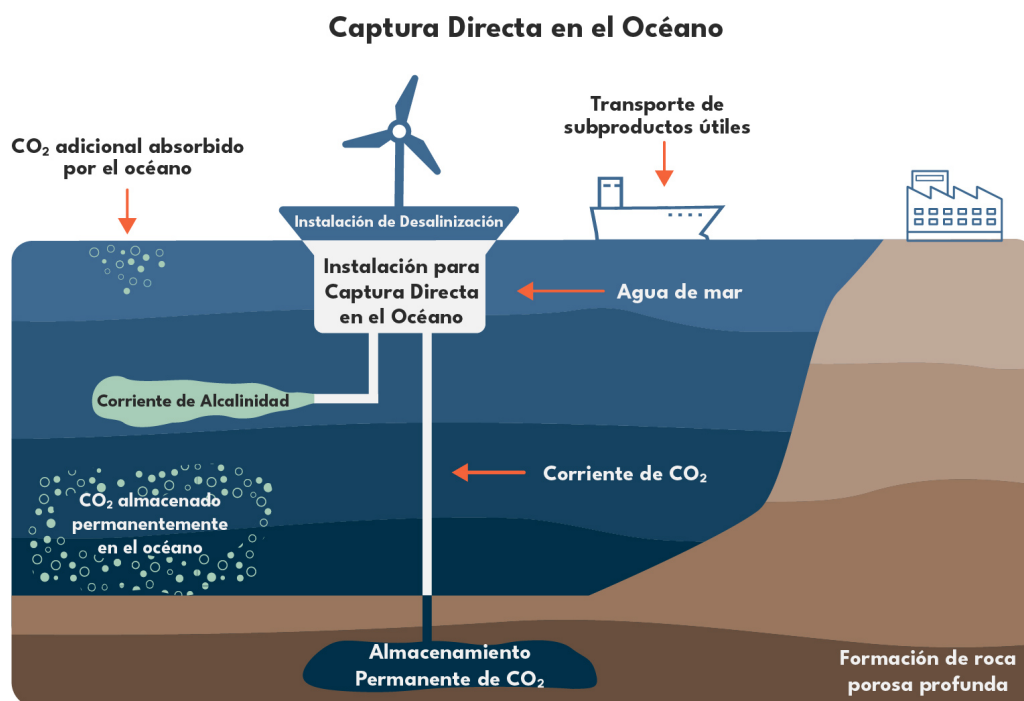
## Descripción

La superficie del océano reacciona con el CO<sub>2</sub> atmosférico, lo que resulta en que el CO<sub>2</sub> se disuelva en el agua de mar. El aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico ha provocado un aumento dramático en la cantidad de CO<sub>2</sub> que es absorbido por el océano, lo que resulta en una acidificación oceánica perjudicial.

Los océanos contienen CO<sub>2</sub> disuelto que se une naturalmente a minerales alcalinos disueltos (es decir, minerales que son altamente reactivos con CO<sub>2</sub> y entran en el océano durante procesos naturales de intemperismo) para formar compuestos de carbono disueltos estables. Convertir el CO<sub>2</sub> disuelto en compuestos de carbono disueltos reduce la concentración de CO<sub>2</sub> en la capa superior del océano, liberando capacidad para que el agua de mar de nivel superficial capture CO<sub>2</sub> atmosférico.

Al igual que el método de intemperismo mejorado de rocas descrito en la sección anterior, el aumento de la alcalinidad oceánica acelera este proceso natural al recolectar y triturar rocas alcalinas en una instalación de procesamiento. Esta roca alcalina triturada se transforma luego en una solución alcalina que se inyecta por debajo del nivel del mar en sitios como una planta de desalinización. Después de capturar el CO<sub>2</sub> disuelto, el CO<sub>2</sub> se transforma en un compuesto de carbono disuelto estable que luego se hunde en el océano profundo para su secuestro permanente.

# Captura Directa en el Océano (DOC)



**Fuente:** Cross, J.N., Sweeney, C., Jewett, E.B., Feely, R.A., McElhany, P., Carter, B., Stein, T., Kitch, G.D., and Gledhill, D.K., 2023. Strategy for NOAA Carbon Dioxide Removal Research: A white paper documenting a potential NOAA CDR Science Strategy as an element of NOAA's Climate Interventions Portfolio. NOAA Special Report. NOAA, Washington DC. DOI: 10.25923/gzke-8730



## Resumen

La captura directa en el océano (DOC, por sus siglas en inglés) utiliza electricidad para separar el CO<sub>2</sub> disuelto en el océano en un ácido y una base que pueden utilizarse para el aumento de la alcalinidad oceánica o la remoción directa de CO<sub>2</sub> del agua de mar para su utilización o secuestro subterráneo.

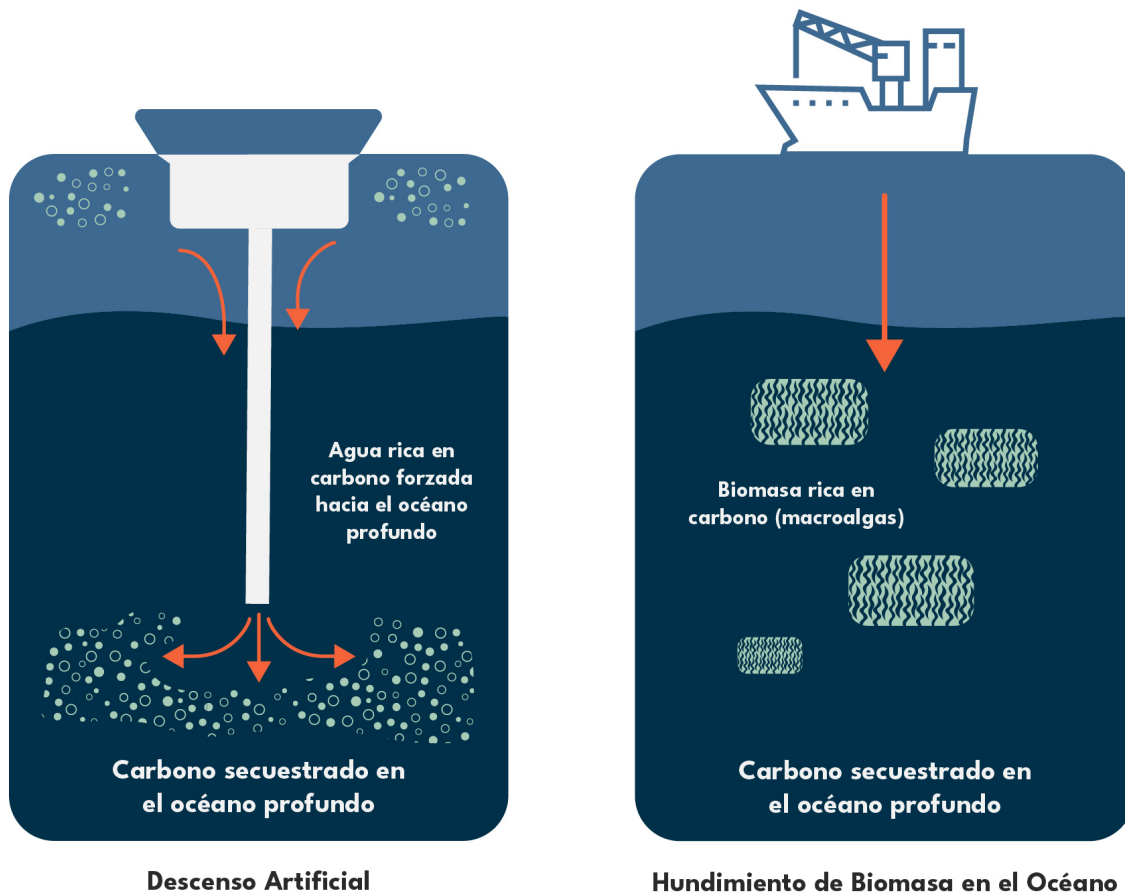
## Descripción

La captura directa en el océano (DOC) utiliza infraestructuras en tierra y en el mar, como plantas desalinizadoras, para la recolección de agua de mar y la remoción de carbono. El proceso DOC comienza utilizando electricidad para separar el agua de mar recolectada en un ácido y una base en un proceso conocido como electrólisis. Hay dos formas de utilizar el ácido y la base producidos mediante electrólisis para capturar el CO<sub>2</sub> disuelto:

- El ácido se agrega al agua de mar recolectada para convertir el CO<sub>2</sub> disuelto en una corriente de CO<sub>2</sub> para captura y una corriente de agua de mar desprovista de CO<sub>2</sub>. El CO<sub>2</sub> capturado puede transportarse y utilizarse para otros fines (por ejemplo, producir combustibles para el transporte o fabricar materiales de construcción) o inyectarse bajo el lecho marino en formaciones rocosas porosas debajo de una capa impermeable de roca para su secuestro permanente. Luego, se agrega la base al agua de mar desprovista de CO<sub>2</sub> para neutralizar el ácido agregado previamente y evitar cualquier acidificación oceánica consecuente. Esta agua de mar desprovista de carbono se diluye luego con agua de mar normal y se devuelve al océano donde puede volver a absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera.
- La base se inyecta directamente de vuelta en la capa superior del océano para aumentar la alcalinidad superficial y reducir el CO<sub>2</sub> atmosférico. En este punto, la remoción de CO<sub>2</sub> ocurre a través del aumento de la alcalinidad oceánica, como se define en la sección anterior. El ácido puede transportarse y utilizarse para fines industriales.

## Hundimiento de Carbono en el Océano

### Hundimiento de Carbono en el Océano



**Fuente:** Cross, J.N., Sweeney, C., Jewett, E.B., Feely, R.A., McElhany, P., Carter, B., Stein, T., Kitch, G.D., and Gledhill, D.K., 2023. Strategy for NOAA Carbon Dioxide Removal Research: A white paper documenting a potential NOAA CDR Science Strategy as an element of NOAA's Climate Interventions Portfolio. NOAA Special Report. NOAA, Washington DC. DOI: 10.25923/gzke-8730

## Resumen

El hundimiento de carbono en el océano implica mover el carbono cerca de la superficie del océano hacia el océano profundo para el secuestro a largo plazo a través de bombas de agua descendentes o hundimiento de algas marinas.

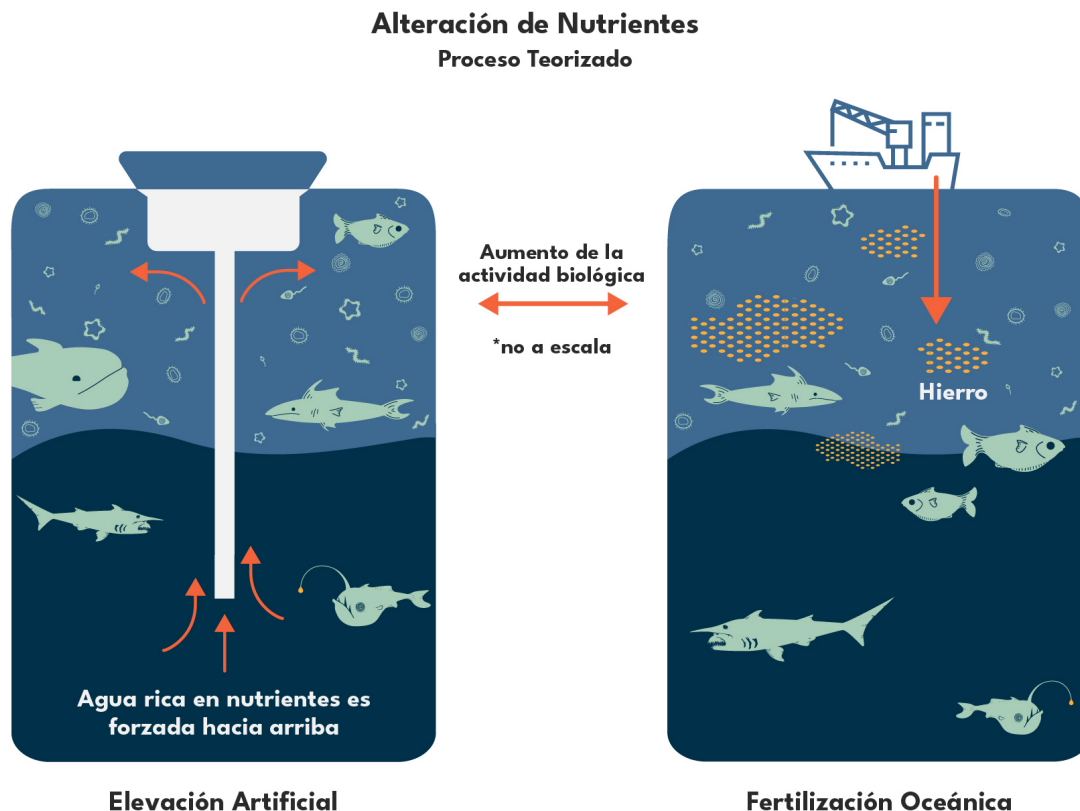
## Descripción

El hundimiento de carbono en el océano implica mover el carbono cerca de la superficie del océano hacia el océano profundo, donde el carbono puede ser secuestrado durante mucho tiempo. La baja temperatura, alta presión y alta salinidad del océano profundo asegurarían que el carbono hundido no regrese a la superficie, se convierta nuevamente en CO<sub>2</sub> y vuelva a entrar en la atmósfera. Sin embargo, se necesita un análisis y modelado adicionales para proporcionar más información sobre la permanencia del secuestro y los impactos en los ecosistemas.

Existen dos métodos principales de hundimiento de carbono en el océano: descenso artificial y hundimiento de biomasa oceánica.

- **El descenso artificial** implica el uso de soluciones técnicas para bombear agua rica en carbono desde la superficie del océano hasta el océano profundo para su secuestro, liberando espacio a nivel del mar para que el agua de mar desprovista de carbono capture y disuelva CO<sub>2</sub> atmosférico.
- **El hundimiento de biomasa oceánica** implica arrojar algas marinas (es decir, macroalgas) que han absorbido carbono mediante la fotosíntesis para ser hundidas en el océano profundo para su secuestro.

# Alteración de Nutrientes



**Fuente:** Cross, J.N., Sweeney, C., Jewett, E.B., Feely, R.A., McElhany, P., Carter, B., Stein, T., Kitch, G.D., and Gledhill, D.K., 2023. Strategy for NOAA Carbon Dioxide Removal Research: A white paper documenting a potential NOAA CDR Science Strategy as an element of NOAA's Climate Interventions Portfolio. NOAA Special Report. NOAA, Washington DC. DOI: 10.25923/gzke-8730



## Resumen

La alteración de nutrientes implica aumentar la cantidad de nutrientes cerca de la superficie del océano, mediante bombas de agua ascendentes técnicamente o agregando nutrientes al océano, para acelerar las actividades biológicas marinas de captura de carbono y el secuestro profundo del océano a través del hundimiento de biomasa.

## Descripción

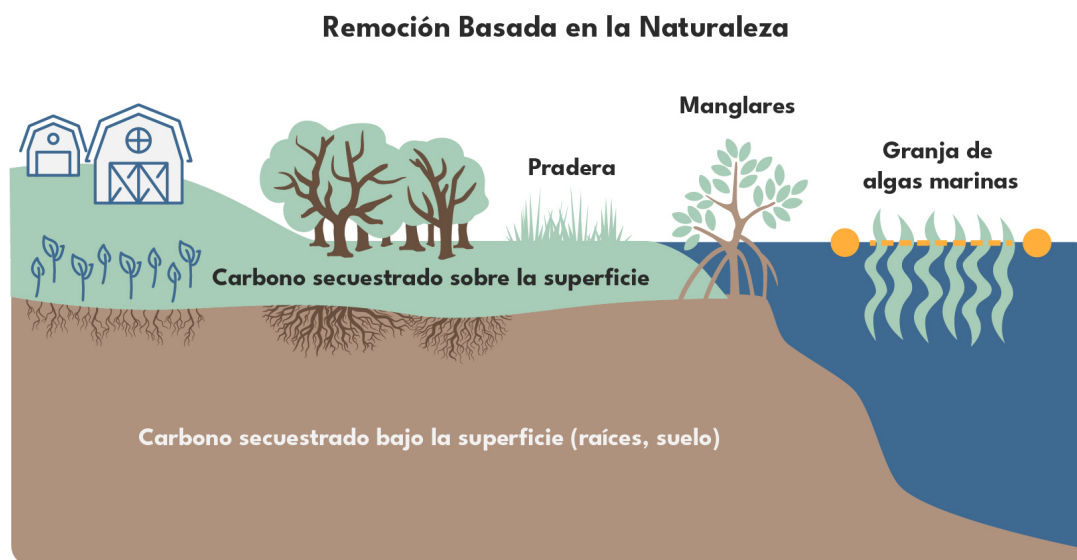
Los organismos marinos cerca de la superficie del océano (por ejemplo, el fitoplancton) ingieren naturalmente CO<sub>2</sub> disuelto y lo almacenan en sus cuerpos durante actividades biológicas, como la fotosíntesis. La alteración de nutrientes tiene como objetivo aumentar la cantidad de nutrientes cerca de la superficie del océano para aumentar las actividades biológicas, lo que aumenta la

cantidad de carbono que se almacena en los organismos marinos. Parte del carbono capturado y almacenado por estos organismos marinos se hundirá naturalmente en el océano profundo para su secuestro a largo plazo. Al igual que el hundimiento de carbono en el océano, se necesita un análisis y modelado adicionales para comprender mejor la permanencia del secuestro y los impactos en los ecosistemas de la alteración de nutrientes.

Existen dos métodos principales para la alteración de nutrientes: ascenso artificial y fertilización oceánica.

- **El ascenso artificial** implica el uso de soluciones técnicas para bombear agua rica en nutrientes desde el océano profundo hasta la capa superior del océano pobre en nutrientes. Estos nutrientes ascendidos alimentarán y acelerarán los procesos biológicos de captura de carbono de los organismos marinos.
- **La fertilización oceánica** implica agregar nutrientes, como hierro, a la superficie del océano para alimentar y acelerar los procesos biológicos de captura de carbono de los organismos marinos.

## Remoción Basada en la Naturaleza



**Nota:** Representación de varios métodos de remoción basados en la naturaleza que tienen lugar en el mismo paisaje. Los métodos representados incluyen reforestación, secuestro de carbono en el suelo, carbono azul costero y cultivo de algas marinas.

**Ver también:** Una guía de métodos de remoción de dióxido de carbono

**Fuente:**

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2019. Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25259>.



## Resumen

La remoción basada en la naturaleza implica varios métodos centrados en aumentar la vegetación para aumentar la fotosíntesis para la captura de carbono y/o implementar prácticas de manejo de tierras para aumentar el almacenamiento de carbono en el suelo.

## Descripción

El CO<sub>2</sub> se elimina naturalmente de la atmósfera y se almacena en las plantas a través de la fotosíntesis. Existen varios métodos para mejorar los procesos fotosintéticos para aumentar la remoción natural del carbono atmosférico que requieren poca o ninguna intervención técnica.

Algunos de estos métodos se describen en el diagrama anterior: reforestación, secuestro de carbono en el suelo, carbono azul costero y cultivo de algas marinas.

- **La reforestación** implica replantar árboles en ecosistemas forestales dañados o destruidos. Los árboles secuestran carbono en su biomasa durante el tiempo que vivan.
- **El secuestro de carbono en el suelo** implica implementar prácticas de manejo de tierras que aumenten el contenido de carbono en el suelo, así como el tiempo de secuestro de carbono en el suelo. Algunos ejemplos de estas prácticas de manejo de tierras incluyen la agricultura de cero labranza para reducir la exposición del suelo al carbono y plantar cultivos de cobertura para reducir la erosión del suelo y la consecuente liberación de carbono.
- **El carbono azul costero** implica implementar prácticas de manejo de tierras que aumenten la vegetación costera, aumentando así la cantidad de carbono almacenado en los ecosistemas costeros, como los manglares y los pantanos.
- **El cultivo de algas marinas** implica cultivar y mantener algas marinas en la superficie del océano donde el carbono se elimina de la atmósfera y se almacena en la biomasa de las algas a través de la fotosíntesis.

## Conclusión

No hay una solución única cuando se trata de abordar el cambio climático. Lograr la neutralidad de carbono para 2050 y limitar el calentamiento global a 1.5 a 2 grados Celsius para 2100 requerirá una

combinación de descarbonización profunda para mitigar las emisiones futuras y una diversa implementación de CDR para eliminar las emisiones existentes de la atmósfera mientras se satisfacen las necesidades de las comunidades donde se implementan.

El objetivo de esta guía no es convencer a los lectores sobre estas tecnologías, sino ampliar su comprensión de cómo son los procesos de CDR y cuán variados pueden ser. La mayoría de los métodos de CDR descritos en esta guía todavía son relativamente incipientes y no operan a la escala necesaria para alcanzar nuestros objetivos de emisiones. Sin embargo, al diversificar su apoyo y financiamiento político para la CDR, Estados Unidos puede acelerar rápidamente el desarrollo y la implementación de estas tecnologías. Hacerlo permitirá a Estados Unidos consolidarse como un líder mundial en reducciones de emisiones e innovación en CDR, así como avanzar significativamente en la lucha para detener el cambio climático.

**Estas tecnologías incipientes son cruciales ya que ofrecen soluciones de mitigación de emisiones que son oportunas y abordan el cambio climático, todo mientras utilizan fuerzas laborales/capacidades heredadas y operan dentro de las limitaciones de nuestra realidad actual: una economía fuertemente dependiente de los combustibles fósiles, respaldada por poderosas compañías petroleras y caracterizada por su disponibilidad y bajo costo.**

## Agradecimientos

El memorando explicativo de CDR de Third Way fue revisado en forma de borrador por individuos seleccionados por su diversa experiencia técnica. Los comentarios de revisión y el manuscrito preliminar permanecen confidenciales para proteger la integridad del proceso. Estamos agradecidos con los siguientes individuos por su revisión de este memorando:

**Keju An**, PhD; Strategic Energy Analysis Center, National Renewable Energy Laboratory.

**Lisa Kreibe**, PhD; Bioenergy Science and Technology, National Renewable Energy Laboratory.

**Anne E. Ware**, PhD; Renewable Resources and Enabling Sciences Center, National Renewable Energy Laboratory.

### TOPICS

**ALL TOPICS**

**CARBON MANAGEMENT 79**

## ENDNOTES

1. IPCC, 2022: *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Resumen para responsables de políticas. En: Cambio climático 2022: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático] [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK y New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001.
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2019 *Negative Emissions Technologies and Reliable Sequestration: A Research Agenda*. [Tecnologías de emisiones negativas y secuestro confiable: Una agenda de investigación.] Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25259>.
3. Rogelj, J., D. Shindell, K. Jiang, S. Fifita, P. Forster, V. Ginzburg, C. Handa, H. Kheshgi, S. Kobayashi, E. Kriegler, L. Mundaca, R. Séférian, y M.V. Vilariño, 2018: Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. In: *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Vías de mitigación compatibles con 1.5°C en el contexto del desarrollo sostenible. En: *Calentamiento global de 1.5°C. Un informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1.5°C por encima de los niveles preindustriales y las vías de emisión global de gases de efecto invernadero relacionadas, en el contexto del fortalecimiento de la respuesta global a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza*] [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, y T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK y New York, NY, USA, pp. 93-174, doi:10.1017/9781009157940.004.

4. Smith, S. M., Geden, O., Nemet, G., Gidden, M., Lamb, W. F., Powis, C., Bellamy, R., Callaghan, M., Cowie, A., Cox, E., Fuss, S., Gasser, T., Grassi, G., Greene, J., Lück, S., Mohan, A., Müller-Hansen, F., Peters, G., Pratama, Y., Repke, T., Riahi, K., Schenuit, F., Steinhauser, J., Strefler, J., Valenzuela, J. M., and Minx, J. C. (2023). *The State of Carbon Dioxide Removal – 1st Edition. The State of Carbon Dioxide Removal*. [El estado de la remoción de dióxido de carbono – 1ª edición. El estado de la remoción de dióxido de carbono.] doi:10.17605/OSF.IO/W3B4Z
5. “Orca: the first large-scale plant.” [“Orca: la primera planta a gran escala.”] *Climeworks*, <https://climeworks.com/plant-orca>. Accedido el 29 de febrero de 2024.
6. “Heirloom unveils America’s first commercial Direct Air Capture facility.” [“Heirloom revela la primera instalación comercial de captura directa de aire de américa.”] *Heirloom*, 9 de noviembre de 2023, <https://www.heirloomcarbon.com/news/heirloom-unveils-americas-first-commercial-direct-air-capture-facility>. Accedido el 29 de febrero de 2024.
7. Hacker, Neil. *Scaling Carbon Removal* [“Escalando la remoción de carbono.”] *Escalando la remoción de carbono*, <https://www.scalingcarbonremoval.com/#Portfolio%C2%AOconsiderations>. Accedido el 29 de febrero de 2024.
8. “The difference between carbon removal and carbon avoidance projects.” “The difference between carbon removal and carbon avoidance projects.” [“La diferencia entre proyectos de remoción de carbono y proyectos de evitación de carbono.”] *ClimateSeed*, 7 de febrero de 2023, <https://climateseed.com/blog/what-is-the-difference-between-carbon-removal-and-carbon-avoidance-projects>. Accedido el 29 de febrero de 2024.
9. Bergman, Andrew, y Rinberg, Anatoly. “The Case for Carbon Dioxide Removal: From Science to Justice.” [“El argumento a favor de la remoción de dióxido de carbono: de la ciencia a la justicia.”] *CDR Primer*, Wilcox, Jennifer, Kolosz, Ben, Freeman, Jeremy, 2021.

10. “The Inflation Reduction Act (IRA) of 2022.” [“La ley de reducción de la inflación (IRA) de 2022.”] *Carbon Capture Coalition*, agosto de 2022, <https://carboncapturecoalition.org/wp-content/uploads/2022/08/IRA-2022-Fact-Sheet-8.16.pdf>. Accedido el 29 de febrero de 2024.