

ACTIVIDADES DE GEOINGENIERÍA EN AMÉRICA LATINA

June 22, 2021



Foto 1: Un trabajador coloca pintura blanca en los Andes peruanos en un intento de que el agua y la vegetación vuelvan a la cordillera. © CNN

Foto 2: Sistema de purificación de aire “BioUrban 2.0” en Puebla, México. © AFP

Foto 3: Portada del “Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México”. © Gobierno de México

por Anja Chalmin

Desde los primeros días de la geoingeniería, se han realizado o están en curso 90 proyectos conocidos de geoingeniería en América Latina. El mapa mundial de la geoingeniería muestra todos estos proyectos, donde incluimos en la definición más amplia de geoingeniería a la geoingeniería solar, la remoción del dióxido de carbono y la modificación local del clima. El [mapa mundial interactivo sobre geoingeniería](#), una herramienta generada por la Fundación Heinrich Böll y el Grupo ETC, muestra que la mitad de los proyectos utilizaron tecnologías de modificación del clima, como la siembra de nubes. Estos proyectos pretenden influir en el clima regional, no en los patrones climáticos globales. Se utilizan desde mediados del siglo pasado y son importantes precursores de las actuales tecnologías de geoingeniería. También presagian el tipo de controversias que pueden desencadenar otros tipos de proyectos de geoingeniería.

Gran parte de la actividad de geoingeniería es llevada a América Latina por empresas y proyectos de América del Norte y Europa. Este artículo describe cómo los proyectos del extranjero utilizan o pretenden utilizar las aguas latinoamericanas para pruebas de geoingeniería marina y otras actividades. También presenta los planes brasileños y mexicanos de captura y almacenamiento de carbono (CCS, por sus siglas en inglés), los avances en el sector de la captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS, por sus siglas en inglés), las actividades de investigación sobre el manejo de la radiación solar y el rol que juega la geoingeniería basada en la biomasa.

Hay un elemento común a todos los proyectos de geoingeniería: prometen soluciones rápidas al cambio climático, pero en gran medida son hipotéticos e implican grandes riesgos e incógnitas. La mayoría de las propuestas exigen recursos de forma intensiva y consumen importantes cantidades de tierra y energía, lo que significa que no son respetuosas con el clima. Dado que las propuestas de geoingeniería no abordan las causas fundamentales del cambio climático, sino que prometen una solución rápida, suponen la amenaza de retrasar el abandono de los combustibles fósiles. Además, desvían la atención de las inversiones en soluciones climáticas reales.

LOS AGRICULTORES LUCHAN CONTRA VW PARA DETENER LOS CAÑONES ANTIGRANIZO Y OTRAS ACTUALIZACIONES SOBRE LAS PRÁCTICAS DE MODIFICACIÓN DEL CLIMA EN AMÉRICA LATINA

En América Latina se conocen 45 proyectos en 17 países que han intentado aumentar las precipitaciones o suprimir el granizo. La mayoría de los proyectos se llevaron a cabo en Chile (11 proyectos) y México (10 proyectos), seguidos de Cuba (5 proyectos). Otros nueve países han intentado la modificación del clima, aunque sólo una vez. Los tres primeros proyectos de modificación del clima se llevaron a cabo a finales de la década de 1940 y más de la mitad de los proyectos de los que se tiene registro se iniciaron en las décadas de 1970 y 1980.

Más del 50% de los proyectos fueron suspendidos al cabo de uno o dos años. La mayoría tenía como objetivo aumentar las precipitaciones y fueron implementados en nombre de gobiernos, a menudo para responder a las sequías —por ejemplo, en zonas agrícolas o para reponer los suministros de agua municipales. Los programas llevaron a cabo actividades de siembra de nubes en áreas desde 50 km² hasta 50 mil km², tanto en tierra como en el aire, utilizando normalmente yoduro de plata (AgI)

como agente de siembra. Sólo 3 de los 45 proyectos conocidos siguen funcionando en la actualidad. Todos los proyectos que intentaban aumentar las precipitaciones han sido interrumpidos. Actualmente tres proyectos para suprimir el granizo están en marcha.

Dos de los proyectos en curso de supresión de granizo, el de **Mitigación de Daños por Granizo en Mendoza** y la **Operación Granizo en Mendoza**, ambos financiados con fondos públicos, se encuentran en la región de Mendoza, Argentina, y tienen como objetivo proteger los extensos viñedos de esta región de los daños causados por el granizo. Un estudio evaluó casi 60 años de siembra de nubes para prevenir el granizo en la región de Mendoza y descubrió que realmente no ha logrado el objetivo de suprimir el granizo. De hecho, no existen pruebas científicas inequívocas de que la siembra de nubes para prevenir el granizo reduzca su frecuencia o tamaño. Los programas antigranizo suelen realizarse con yoduro de plata (AgI), utilizando aviones, generadores terrestres y cohetes. Según la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA, por sus siglas en inglés), el **yoduro de plata es muy tóxico para la vida acuática** y tiene efectos duraderos, por lo que puede causar daños a largo plazo en las masas de agua de Mendoza. La ECHA recomienda evitar los vertidos o la liberación de yoduro de plata en el medio ambiente.

El tercer proyecto antigranizo activo en América Latina fue encargado por **Volkswagen (VW)**. A principios de 2018, VW instaló cañones antigranizo para evitar los daños causados por el granizo a sus vehículos en su planta de Puebla, México. Más tarde, en 2018, cientos de agricultores locales se quejaron de que los dispositivos habían provocado una sequía en unas 2 mil hectáreas de tierras de cultivo durante los meses que debían haber sido la temporada de lluvias en México. Los agricultores presentaron una demanda en la que reclamaban al fabricante de automóviles 3.2 millones de euros por daños y perjuicios. En respuesta, VW dijo que instalaría redes antigranizo sobre los coches, que serían la medida principal de protección contra las tormentas de granizo. Los cañones antigranizo servirían como herramienta secundaria y solamente serían utilizados en modo manual, siendo que antes estaban automatizados.

El uso de tecnologías de modificación del clima también ha provocado disputas en Ecuador. En la provincia ecuatoriana de **Cotopaxi**, los productores industriales de brócoli Nintanga y Provefrut utilizaron cañones antigranizo entre 2006 y 2010, con el objetivo de dispersar las nubes y evitar así que las precipitaciones dañaran los cultivos. Según las comunidades indígenas y campesinas locales, estas medidas afectaron a los patrones meteorológicos y produjeron sequías, lo que afectó a sus sistemas agrícolas y a sus formas de subsistencia. En respuesta a la oposición de los agricultores y las comunidades indígenas, las autoridades ordenaron a la empresa que cesara sus actividades de siembra de nubes en 2010. En 2016, las comunidades de Cotopaxi sospecharon que los productores de brócoli habían vuelto a poner en marcha las actividades de siembra de nubes, utilizando nuevas tecnologías como la siembra de nubes con aviones. En mayo de 2016, tras las denuncias de cientos de agricultores, el Consejo Provincial de Cotopaxi **aprobó una ordenanza** para prohibir la utilización de cualquier tecnología que altere los ciclos naturales de la lluvia. A pesar de esta normativa, se han dado algunos casos de utilización de cañones de lluvia, por ejemplo, en el sur de Pujilí, Cotopaxi. A fines de 2020 volvieron a estallar las protestas en Cotopaxi después de que algunos testigos informaran sobre posibles actividades de siembra de nubes. Como resultado de las protestas se estableció una Mesa del Agua para aclarar las denuncias y mejorar el suministro de agua en la provincia.

PROYECTOS DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN BRASIL Y MÉXICO

Los proyectos de **captura y almacenamiento de carbono (CCS)** en América Latina se concentran en Brasil y México y combinan la captura de CO₂ con la recuperación optimizada de petróleo (EOR, por sus siglas en inglés). En Brasil, la compañía petrolera estatal Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.) comenzó a investigar la CCS en 2007, en estrecha colaboración con la Pontificia Universidad Católica de Rio Grande do Sul (PUCRS). Su empresa conjunta, el Centro de Excelencia en Investigación e Innovación en Petróleo, Recursos Minerales y Almacenamiento de Carbono (**CEPAC**) publicó en 2014 el **Atlas Brasileño de Captura y Almacenamiento Geológico de CO₂**, que analiza los potenciales riesgos, capacidad y rentabilidad de la CCS. El atlas, patrocinado por el Global CCS Institute, también elabora una evaluación preliminar sobre las opciones de almacenamiento geológico de CO₂ en Brasil y señala la fase aún temprana de desarrollo de la tecnología de CCS y las lagunas de información existentes, como las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes marinas. En 2011, el CEPAC llevó a cabo un proyecto piloto a pequeña escala para mejorar la recuperación de metano en mantos carboníferos mediante la inyección de CO₂ en el yacimiento de carbón de Charqueadas en el sur de Brasil. Petrobras realizó más pruebas con CO₂-EOR y almacenamiento geológico en tierra, en la **prueba piloto de Miranga**, en el estado de Bahía, de 2009 a 2011. Al mismo tiempo, se probó la tecnología de captura de CO₂ por oxidación en colaboración con Shell y ConocoPhillips en el complejo de investigación de Petrobras en São Mateus, estado de Paraná. Desde 2013, Petrobras ha estado inyectando CO₂ en la cuenca de Santos, en el Atlántico Sur. El CO₂ se captura en el campo petrolífero del Presal, a unos 300 kilómetros al sur de Río de Janeiro, en una plataforma flotante de producción, almacenamiento y descarga de gas natural y petróleo. El CO₂ capturado se transporta en buques a lo largo de 50 a 100 kilómetros y se inyecta en los **campos petrolíferos de Tupi, Sapinhoá y Lapa** a una profundidad de 2 a 3 kilómetros para la EOR. Hasta 2017, se capturaron e inyectaron alrededor de 1.5 millones de toneladas de CO₂ al año. Esta cantidad se ha duplicado desde entonces y se pretende aumentar aún más en los próximos años. Se desconoce la proporción de CO₂ inyectado en los campos petrolíferos que en realidad permanece bajo tierra tras la inyección. Las estimaciones de la industria petrolera

indican que alrededor del 30% del CO₂ inyectado vuelve a la superficie con el petróleo bombeado. La EOR con CO₂ capturado conlleva costos adicionales para el medio ambiente y genera grandes cantidades de gases de efecto invernadero: el proceso de captura requiere mucha energía, al igual que la compresión y el transporte por barco del CO₂ capturado. Además, la EOR facilita la extracción y quema de más petróleo.[1]

El gobierno mexicano diseñó su primer **mapa de ruta tecnológica nacional de CCUS** en 2014. Este plan fue actualizado en 2018, con la participación de académicos y de la industria, y tiene como objetivo construir conocimiento y experiencia en los campos de CCS, CO₂-EOR, almacenamiento geológico de CO₂, monitoreo de CCS y CCUS. El mapa de ruta planea establecer un marco regulatorio para la CCS, así como el CEMCCUS (Centro Mexicano de CCUS), el Centro Mexicano para la Captura, Uso y Almacenamiento de CO₂. En mayo de 2018, el Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL) de México fue seleccionado para liderar el CEMCCUS. Hasta ahora no hay indicios de que los planes para el centro hayan avanzado desde entonces.

El mapa de ruta también incluye planes para implementar dos proyectos piloto en el estado de Veracruz. Los proyectos serán planificados y dirigidos por Pemex (Petróleos Mexicanos), la compañía petrolera nacional de México, y la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México. El primer proyecto piloto pretende probar la captura de CO₂ y la EOR en la industria petrolera, y se llevará a cabo en la planta de producción de PEMEX Cinco Presidentes, en **Agua Dulce**. El CO₂ capturado se utilizará para EOR en el campo petrolífero de **Brillante**, a unos 40 kilómetros al oeste de Agua Dulce. El segundo proyecto piloto pretende evaluar la viabilidad técnica y económica de la captura de CO₂ y se ubicará en la central termoeléctrica de 250 MW de Pemex, alimentada con gas natural, en Poza Rica, en el municipio de Tihuatlán. El proyecto tiene como objetivo tratar el uno por ciento de los gases de combustión de Poza Rica con tecnología de captura de postcombustión y probar diferentes tipos de solventes a base de aminas. Se espera que el periodo de prueba sea de unos nueve meses, con 18 toneladas de CO₂ capturadas por día. El inicio de ambos proyectos piloto se anunció para 2019, pero hasta ahora no hay indicios de que los proyectos hayan comenzado.

Pemex ya ha adquirido cierta experiencia inicial con la CCS gracias al **proyecto Carmito** de captura y almacenamiento de carbono. Este proyecto piloto a escala se llevó a cabo en colaboración con Halliburton, una empresa transnacional que presta servicios y productos a la industria petrolera. De 2004 a 2013, Halliburton operó una instalación de captura de CO₂ en una planta de Pemex al norte de Reforma, en Chiapas. El CO₂ capturado se utilizó para EOR en el cercano campo petrolífero de Batería Artesa.

El Mapa de Ruta Tecnológica de CCUS en México ve potencial para la CCS con EOR en el procesamiento de gas, la generación de energía y la industria, como la del cemento, los fertilizantes, la química o las refinerías. En los lugares con potencial de captura de CO₂ pero sin opción de utilizar el CO₂ capturado para EOR, el mapa de ruta pretende desarrollar la CCUS. La próxima actualización del mapa de ruta está prevista para 2022.

USO DE LA CCUS JUNTO CON LAS BEBIDAS CARBONATADAS

La captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS) tiene como objetivo capturar el CO₂ y utilizarlo como materia prima en la fabricación, de modo que se “almacene” en los productos manufacturados —hasta ser liberado de nuevo al consumir el producto. Esto aplica al uso del carbono capturado en las bebidas carbonatadas. Los refrescos, el agua con gas y otras bebidas carbonatadas tienen un ciclo de vida muy corto y el CO₂ “almacenado” regresa a la atmósfera en poco tiempo. También es importante tener en cuenta que el proceso de captura de CO₂ es de un alto consumo energético y que se necesita aún más energía para purificar (y transportar) el CO₂ capturado.[2] Aunque las tecnologías CCUS prometen combatir el cambio climático o incluso cumplir los requisitos como créditos de carbono, lo único que hacen es reemitir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Y en muchos casos, el CCUS está generando emisiones de GEI adicionales.

En Argentina, Brasil, Chile y Puerto Rico existen experiencias iniciales o planes para la aplicación del CO₂ capturado en la industria de las bebidas. En Argentina, está prevista la instalación de una planta de captura de CO₂ en la **cervecería CCU de Luján**, en la provincia de Buenos Aires. La cervecería pretende capturar el CO₂ de un proceso de fermentación en la misma cervecería y utilizar el CO₂ capturado para las bebidas carbonatadas. La tecnología de captura de CO₂ es proporcionada por la empresa danesa Union Engineering. La misma tecnología se está utilizando en Chile en la **cervecería AB InBrew en Quilicura** y en la **cervecería CCU de Temuco** desde 2019. En Puerto Rico, Union Engineering instaló en 2009 su tecnología de captura en el centro de producción de la **Coca-Cola Puerto Rico Bottler** en Bayamón. En Brasil, Air Liquide Brasil y la empresa embotelladora de Coca-Cola FEMSA han firmado un acuerdo a largo plazo para el suministro de CO₂, energía y agua para la planta embotelladora de **FEMSA** en la ciudad de **Itabirito**, a 400 kilómetros al norte de Río de Janeiro. El CO₂ capturado de los gases de escape de la planta de energía de Air Liquide en Itabirito se le suministra a FEMSA para la producción de bebidas carbonatadas. La planta de captura de CO₂ fue provista e instalada por Union Engineering en 2012.

EL PAPEL DE LA BIOENERGÍA CON CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO (BECCS) Y LOS BIOCOMBUSTIBLES

El Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil, el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) llevaron a cabo lo que llamaron un proyecto piloto de BECCS en el estado de **São Paulo** entre 2013 y 2014. El piloto consistía en una planta de producción de biocombustible de etanol a pequeña escala en la industria de conversión de caña de azúcar en etanol. En un principio estaba planeada una ampliación de la instalación, pero no se llevó a cabo porque el gobierno brasileño no quiso aportar el financiamiento sustancial para ello.

Desde 2017, la biomasa brasileña se envía a la central eléctrica **Drax**, un proyecto fuertemente subvencionado de BECCS en Gran Bretaña. El proyecto Drax afirma que ahorra emisiones al utilizar pélets de madera. Pero esto no es así, ya que la madera para los pélets tiene que ser secada, triturada, hecha pélets y empaquetada mediante procesos de alto consumo energético. El transporte a través de buques portacontenedores, camiones y trenes impulsados por combustibles fósiles genera emisiones adicionales.[3]

Los científicos advierten que la BECCS requiere grandes extensiones de terreno, lo que provocaría una escasez de tierras agrícolas, un aumento del precio de los alimentos y escasez de agua. Una situación comparable se produjo en México en 2007, cuando el aumento de la producción de etanol de maíz en Estados Unidos provocó un aumento significativo del costo del maíz comestible, que es un alimento básico en México.[4]

Científicos argentinos están investigando la selección de microalgas para la producción de biocombustibles. En 2012, la empresa bonaerense **Oil Fox S.A.** comenzó a realizar pruebas con microalgas de agua dulce y salobre y pretende producir biodiésel y bioetanol a base de algas. Los gases de combustión emitidos por una central térmica vecina pasan por el cultivo de algas para mejorar su productividad y reducir las emisiones. El sitio web de la empresa sigue en línea, pero no hay evidencia de que se haya desarrollado y comercializado con éxito un biocombustible a base de algas.

Lanzada en 2016, la empresa emergente mexicana BiomiTech tiene su sede en la Ciudad de México y ha desarrollado un supuesto árbol artificial, denominado **BioUrban 2.0**. Según BiomiTech, el dispositivo filtra hasta 825 metros cúbicos de aire por hora y es capaz de capturar CO₂, CO y NO_x. El proceso de filtrado se realiza con microalgas —cada BioUrban 2.0 contiene 500 litros de solución de microalgas. BiomiTech pretende producir en el futuro biogas y biocombustible a partir de la cosecha de algas. Hasta ahora, la empresa ha instalado cinco BioUrban 2.0: uno en la Ciudad de México, otro en Colombia, uno más en Panamá y dos en Turquía. BiomiTech tiene previsto exportar BioUrban a Europa, en colaboración con la empresa española Climate Trade.

En 2012, el productor de algas **Aquaviridis** firmó un acuerdo con OriginOil para desarrollar un centro de producción de algas en sus instalaciones de Mexicali, México. Los socios pretendían alimentar a las algas con gases de escape que contienen CO₂ y extraer aceite de las algas. La producción a escala comercial se anunció para 2013, pero el proyecto no se ha hecho realidad.

INICIATIVAS DEL EXTRANJERO PRUEBAN EL BIOCHAR EN AMÉRICA LATINA

Entre 2003 y 2016, los donantes del extranjero financiaron diez series diferentes de pruebas de campo con biochar o biocarbón en siete países de América Latina. La Iniciativa Internacional de Biochar (IBI, por sus siglas en inglés) financió y realizó ensayos en Belice, Chile y Costa Rica entre 2008 y 2012. En Belice, IBI cooperó con **Toledo Carbon**, una empresa subsidiaria de la Asociación de Productores de Cacao de Toledo en la región de Punta Gorda y llevó a cabo pruebas de campo en granjas. En Chile, el IBI cooperó con la **Universidad de Tarapacá** y realizó pruebas de campo con biochar, así como investigaciones sobre la disponibilidad de materia prima local para el biochar. El proyecto del IBI en **Costa Rica** cooperó con Forest Trend, ONG con sede en Washington DC, y construyó una instalación de producción de biochar a pequeña escala y probó el biochar en parcelas de investigación.

El Programa de Pequeñas Subvenciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) demostró el uso del biochar para enmendar el suelo en el cultivo del cacao en **Belice** y en tres lugares en Perú (**Proyecto B4SS Perú**). Los programas fueron implementados por las oficinas locales del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo entre 2012 y 2015.

Otras pruebas de campo con biochar fueron financiadas por la Universidad de Wake Forest (EUA) en Perú (**Proyecto Kosñipata**), la Universidad de Cornell (EUA) en **Colombia**, el Instituto Geotécnico Noruego en Brasil (**NGI Biochar**), la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional en **Guyana** y la embajada de Francia en **Haití**.

En la Universidad de La Frontera, en **Temuco, Chile**, se llevaron a cabo varias pruebas sobre el biochar entre 2012 y 2018, incluyendo ensayos en diferentes suelos de la región agrícola alrededor de Temuco.

Un reciente estudio de campo en **Guyana** confirmó que la sostenibilidad del biochar, en comparación con otras enmiendas del suelo, es baja debido al alto consumo de energía. Al igual que en el caso de la BECCS, el consumo de tierra también es problemático para el biochar si se quiere aplicar a gran escala. Además, las estimaciones sobre si el biochar es adecuado para

el almacenamiento de CO₂ a largo plazo son muy contradictorias.[5]

ACTIVIDADES DE GEOINGENIERÍA MARINA EN AGUAS LATINOAMERICANAS

El único experimento legal de geoingeniería marina en aguas latinoamericanas y en el que participan instituciones de América Latina es **IRONEX**. Este experimento de fertilización oceánica se llevó a cabo en dos etapas en la década de 1990, cerca de las Islas Galápagos, a 970 kilómetros al oeste de Ecuador. El experimento de añadir hierro al océano fue llevado a cabo por 15 instituciones internacionales de investigación y fue financiado por Estados Unidos, Reino Unido y México.

Planktos, una empresa privada con sede en California, fundada y dirigida por Russ George, liberó ilegalmente hierro en el Océano Pacífico Central Norte, a 300 millas al este del **archipiélago de Hawaii**, en 2002. En 2008, Planktos quería llevar a cabo otro experimento y había planeado una fertilización oceánica con 100 toneladas de hierro en el Océano Pacífico, cerca de las **Islas Galápagos**. El proyecto se detuvo debido a la oposición de las organizaciones ambientalistas y a que Planktos no había recibido la aprobación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos para la fertilización con hierro. Además, el gobierno ecuatoriano prohibió al barco de Planktos entrar en el puerto.

Desde 2016, la **Oceaneos Marine Research Foundation** busca permisos de los gobiernos sudamericanos para liberar hierro frente a las costas para experimentos de fertilización oceánica. Oceaneos tiene su sede en Vancouver, Canadá, y fue fundada en 2014. Algunas de las personas involucradas en Oceaneos son las mismas que fundaron la Haida Salmon Restoration Corporation (**HSRC**) y colaboraron en el experimento de fertilización oceánica al oeste de Canadá en 2012. **Oceaneos Perú S.A.C.** está buscando permisos para realizar experimentos de fertilización oceánica en los departamentos peruanos de Ica, Arequipa y Moquegua. En 2017, la solicitud de Oceaneos para la “fertilización oceánica con hierro” en aguas peruanas no fue aprobada, debido a las **objeciones** del Instituto del Mar de Perú. En 2018 se presentó una segunda solicitud y Oceaneos obtuvo el permiso para tomar muestras, pero no para probar la fertilización oceánica. En Chile, la **Oceaneos Marine Research Foundation** pretende liberar hasta diez toneladas de hierro a 130 kilómetros de la costa en Coquimbo. Un grupo de científicos chilenos **criticó** el plan, afirmando que el experimento “pondría en grave peligro los ecosistemas marinos nacionales, así como a diversas pesquerías”. Los planes de fertilización oceánica de Oceaneos para **Argentina** se dieron a conocer en 2019. La fertilización de los océanos plantea muchos riesgos, como los efectos adversos en la red alimentaria marina, y podría provocar el agotamiento del oxígeno y la proliferación de algas nocivas.[6]

El **afloramiento artificial** es otra técnica de geoingeniería marina que se está aplicando en América Latina. El proyecto de investigación alemán “Coastal Upwelling in a Changing Ocean” (**CUSCO**), coordinado por el Centro Helmholtz para la Investigación Oceánica GEOMAR, probó los efectos de distintas intensidades de afloramiento en las comunidades de plancton y en la producción de biomasa en las aguas costeras del Callao, en la corriente de Humboldt de la costa de Perú. Las pruebas de afloramiento tuvieron lugar la pasada primavera y se realizaron en los llamados **mesocosmos** (grandes tubos de ensayo). El experimento puso a prueba diferentes escenarios de afloramiento, por ejemplo, añadiendo cantidades variables de agua oceánica profunda rica en nutrientes.

La institución de investigación noruega SINTEF y **OceanTherm AS** proponen reducir la fuerza de los huracanes enfriando las aguas superficiales del océano con cortinas de burbujas de aire. Este método de afloramiento consiste en liberar burbujas de aire desde un tubo perforado que se baja en el agua a una profundidad de entre 100 y 150 metros. Al subir, las burbujas de aire provocan el afloramiento de agua más fría. En la superficie, el agua más fría se mezcla con el agua superficial caliente y la enfría. OceanTherm AS y SINTEF **proponen** sistemas a gran escala, como la instalación de tubos en el Golfo de México o en todo el Canal de Yucatán. Los efectos del afloramiento artificial son desconocidos y potencialmente muy perjudiciales para los ecosistemas marinos.[7]

GLACIARES PERÚ

Glaciares Perú, fundada por Eduardo Gold en 2008, pretendía sustituir los glaciares que se derriten por pintura blanca, con el fin de mantener el albedo (reflectividad) de la Tierra en los Andes peruanos. Gold planeó blanquear 70 hectáreas en tres picos de montaña en la región de Ayacucho, en los Andes peruanos, utilizando una pintura hecha de cal, clara de huevo industrial, arena y agua. Los trabajadores locales subieron a 4 mil metros y pintaron las rocas oscuras que allí se encontraban para reducir la absorción de la radiación térmica por el aumento de la reflectividad. Pintar las cimas de las montañas afectaría negativamente a los frágiles ecosistemas, a la flora y a la fauna.

INVESTIGACIÓN SOBRE EL MANEJO DE LA RADIACIÓN SOLAR (SRM)

Investigadores chilenos y peruanos participaron en 2008 en un experimento de blanqueamiento de nubes marinas. El Experimento Regional de Estudio Océano-Nube-Atmósfera-Tierra **VAMOS (VOCALS-REX)** se realizó en el norte de Chile y estudió los impactos de los aerosoles en las nubes.

En 2018, la Iniciativa para la Gobernanza del Manejo de la Radiación Solar (SRMGI, por sus siglas en inglés) y la Academia Mundial de Ciencias (TWAS, con sede en Italia) lanzaron el Fondo DECIMALS (*Developing Country Impacts Modelling Analysis for SRM*) para apoyar la investigación sobre el SRM en el Sur Global. Una subvención total de 430 mil dólares, proporcionada y administrada por la TWAS, se repartió entre ocho equipos de investigación con sede en Argentina, Bangladesh, Benín, Indonesia, Irán, Costa de Marfil, Jamaica y Sudáfrica. El programa tuvo una duración de dos años y se esperaba que los equipos de investigación publicaran sus resultados a finales de 2020. En **Jamaica**, DECIMALS tiene su sede en la Universidad de las Indias Occidentales, en Mona. El equipo de investigación modela los posibles impactos del SRM en los Pequeños Estados Insulares en Desarrollo (PEID) del Caribe. En **Argentina**, los investigadores de DECIMALS, hospedados en la Universidad de Buenos Aires (UBA) y el Consejo Nacional de Investigaciones de Argentina (CONICET), modelan los posibles impactos del SRM en la disponibilidad de agua dulce en la Cuenca del Plata, en el sureste de Sudamérica.

Las técnicas de SRM, como la Inyección Estratosférica de Aerosoles (SAI, por sus siglas en inglés), tienen como objetivo alterar el equilibrio de la radiación de la Tierra y están asociadas a muchos riesgos, como alterar los patrones de lluvia, provocar fenómenos meteorológicos extremos y perturbar los ecosistemas.[8] Un estudio de modelización de SRM realizado en 2019 predijo efectos positivos para algunas regiones, pero una reducción de las precipitaciones para México, América Central y las zonas del norte de América Latina. En 2018, un grupo de científicos **exigió** que los países en desarrollo deben liderar la investigación sobre geoingeniería solar, ya que se prevé que muchas regiones de África, Asia y América Latina sean las más vulnerables al cambio climático y posiblemente también las más afectadas por las medidas de geoingeniería.

Notas finales:

[1] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Carbon Capture and Storage (CCS)": https://www.geoengineeringmonitor.org/2021/04/carbon_capture_storage/

[2] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Carbon Capture Use and Storage (CCUS)": <https://www.geoengineeringmonitor.org/2021/04/carbon-capture-use-and-storage/>

[3] Chalmin (2020), "Burning biomass is a threat to climate (and no silver bullet) – the impact of BECCS using the Drax plant, Great Britain's biggest power plant, as an example", publicado en *Geoengineering Monitor*: <https://www.geoengineeringmonitor.org/2020/12/updates-on-bio-energy-with-carbon-capture-and-storage-and-direct-air-capture-quarterly-4-part-2/>

[4] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Bioenergy with Carbon Capture & Storage (BECCS)": <https://www.geoengineeringmonitor.org/2021/04/bio-energy-with-carbon-capture-and-storage-beccs/>

[5] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Biochar": <https://www.geoengineeringmonitor.org/2021/04/biochar-technology-factsheet/>

[6] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Ocean fertilization": <https://www.geoengineeringmonitor.org/2021/04/ocean-fertilization/>

[7] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Artificial Upwelling": (enlace por ser actualizado)

[8] Fundación Heinrich Böll y Grupo ETC (2021), "Geoengineering Technology Briefing: Stratospheric Aerosol Injection (SAI)": https://www.geoengineeringmonitor.org/2021/02/stratospheric_aerosol_injection/

MÁS INFORMACIÓN:

Geoengineering Monitor, "What is geoengineering": <https://www.geoengineeringmonitor.org/what-is-geoengineering/>

Grupo ETC y Fundación Heinrich Böll, "Geoengineering Map": <https://map.geoengineeringmonitor.org/>

(Los proyectos descritos en este artículo pueden encontrarse en el mapa mundial sobre geoingeniería utilizando las palabras clave resaltadas en negrita)

Geoengineering Monitor, resúmenes técnicos que proporcionan información de fondo sobre las tecnologías de geoingeniería mencionadas: <https://www.geoengineeringmonitor.org/technologies/>